اتم و الفبای کتاب طبیعت

محمد ارزنده نیا



چاپ سوم

بسم الله الرحمن الرحيم

اتم و الفبای کتاب طبیعت

محمّد ارزنده‌نیا

کتابهای سپیده
(وابسته به انتشارات اطلاعات)
تهران ـ ۱۳۸۷

سرشناسه: ارزنده‌نیا، محمد، ۱۳۳۶ـ
عنوان و نام پدیدآور: اتم و الفبای کتاب طبیعت / محمد ارزنده‌نیا
وضعیت ویراست: [ویراست ۲]
مشخصات نشر: تهران: اطلاعات، کتابهای سپیده، ۱۳۸۷
مشخصات ظاهری: ۲۷۹ ص. : مصور، جدول، نمودار، عکس
شابک: 978-964-423-721-8
وضعیت فهرست‌نویسی: فیپا
یادداشت: چاپ قبلی: کتابهای سپیده، ۱۳۶۸
یادداشت: چاپ سوم
یادداشت: کتابنامه به صورت زیرنویس
موضوع: نظریه اتمی-تاریخ
رده‌بندی کنگره: ۱۳۸۷ ۲الف۴الف/QD۴۶۱
رده‌بندی دیویی: ۵۴۱/۲۴
شماره کتابشناسی ملی: ۱۳۳۳۷۸۰

کتابهای سپیده
وابسته به انتشارات اطلاعات

تهران: خیابان میرداماد، خیابان نفت جنوبی، روزنامه اطلاعات، شماره پستی ۱۵۴۹۹۵۲۱۱۱
تلفن: ۶ـ۲۹۹۹۳۴۵۵ تلفن دفتر توزیع و فروش: ۲۹۹۹۳۲۴۲
فروشگاه مرکزی: خیابان انقلاب اسلامی، روبروی دانشگاه تهران، تلفن: ۶۶۴۶۰۷۳۴

اتم و الفبای کتاب طبیعت

تألیف محمد ارزنده نیا

طراح روی جلد: رضا گنجی حروف‌نگاری، چاپ و صحافی: موسسه اطلاعات

چاپ اول: ۱۳۶۸ چاپ سوم: ۱۳۸۷ شمارگان: ۲۱۰۰ نسخه
قیمت: ۲۲۰۰ تومان

شابک: ۹۷۸ـ۹۶۴ـ۴۲۳ـ۷۲۱ـ۸ ISBN: 978-964-423-721-8

فهرست مطالب

به زهره فراهانی

همسر، همدرد و همکار خوبم

پیشگفتار

کتاب بزرگ طبیعت به زبان ریاضی نوشته شده است

گالیله (۱۶۴۲_۱۵۶۴)

سقراط حکیم گفته است: «دانش من به آن اندازه رسیده است که می‌دانم که هیچ نمی‌دانم.» اما شاید به جای کلمهٔ «هیچ نمی‌دانم» بهتر باشد که کلمهٔ «کمی می‌دانم» به کار گرفته شود چون بیان همین مطلب خودش گونه‌ای دانایی است که به آسانی به دست نمی‌آید. انسان‌ها؛ این موجودات متفکر جهان هستی، از نظر میزان دانایی نسبی خود، از یکدیگر متفاوت به نظر می‌رسند، ولی از نظر غوطه‌وری در نادانی مطلق، با هم هیچگونه اختلافی ندارند.

بهترین راه فراگرفتن هر علمی شاید آن باشد که درست همان راه را بپیماییم که سراسر پیشرفت آن علم پیموده است. به همین دلیل در بررسی و شناخت تکامل تئوری‌های اتمی بی آنکه خود را در کوچه‌پس کوچه‌های جزئیات سردرگم سازیم، به شرح مسیر اصلی و تاریخچهٔ جستجوهای بشر پرداخته‌ایم. بدیهی است هنگامی که انسان از ارتفاعات ناشناسی نخستین بار بالا می‌رود، نباید انتظار داشته باشد که بطور حتم کوتاهترین راه را بپیماید، ولی اغلب زمانی که به قله می‌رسیم، متوجه خواهیم شد که صعود می‌توانست ساده‌تر نیز انجام گیرد. با همین قیاس، مسیر تکامل تئوری‌های اتمی به شکل خطی راست و مستقیم نیست، بلکه دارای پیچ و خم‌های زیادی است. گاهی اوقات به نظر می‌رسد که بسیاری از این اکتشافات بطور تصادفی صورت گرفته‌اند، ولی به قول لویی پاستور: «تصادفات فقط با مغزهای آماده سخن می‌گویند.»

آلبرت آینشتاین می‌نویسد: «جهان هستی با تمام عظمتش، مستقل از ما وجود دارد و همچون

معمایی عظیم و جاودانی در برابر ما قد برافراشته است. ولی فقط برخی از جزییات آن در دسترس ادراك و منطق ماست... بررسی این عالم به نظر من یك نوع آزادی و سبکباری است. بزودی متوجه شدم که بسیاری از کسانی که برایشان ارزش و قدری قایل بودم، آزادی داخلی و صفای نفس خود را در این یافته‌اند که به کشف اسرار هستی مشغول شوند. اندیشهٔ من نیز آغشته به این مسأله است و با تمام قدرتم به کشف واقعیت‌های عینی این جهان می‌پردازم. برای من این مسأله عالی‌ترین هدف است. کسانی که چنین می‌اندیشند، خواه از معاصران و خواه از قدما، تنها یاران باوفای من هستند... انسانی را که دست تقدیر برگزیده است تا تئوری خلاق و باشکوهی را تقدیم جهان سازد، نیازی به ستایش آیندگانش ندارد. همان خلاقیت او نفع قابل ملاحظه‌تری به او ارزانی داشته است.»

هایزنبرگ؛ یکی از کاشفان اسرار طبیعت، در مورد حالات خود، هنگام کشف نهایی معادلاتش چنین می‌نویسد: «... سرانجام شب فرا رسید، و من توانستم محاسبهٔ انرژی عضوهای جداگانهٔ جدول انرژیتیك و یا به قول امروزی‌ها؛ ماتریس انرژی را آغاز کنم، هیجانی که سراپای وجودم را فراگرفته بود مانع از تمرکز فکریم می‌شد و به همین علت پشت سر هم اشتباه می‌کردم. سرانجام ساعت سه بعد از نیمه شب بود که به نتیجهٔ نهایی دست یافتم. در لحظات اولیه دستخوش هراس گردیدم... وقتی فکر می‌کردم که من مالك تمام این گنجینه‌های ساختمان ظریف ریاضی هستم که دروازهٔ طبیعت در برابرم گشوده است، از شوق در پوست نمی‌گنجیدم. خواب دیگر به کلی از سرم پریده بود و حتی به آن فکر هم نمی‌کردم. کم کم که سپیده سر می‌زد از خانه خارج شدم و به سوی انتهای جنوبی جزیره روان گشتم، آنجا که صخره‌ای سر از دریا بیرون کشیده بود. بی‌هیچ زحمت خاصی بر رأس آن صعود کردم و در انتظار طلوع آفتاب نشستم.»

به هر حال وقتی بیابانگرد بدوی اسب خود را با آهن داغ، علامت می‌گذاشت، نمی‌دانست که طیف تشعشعات آهن از فرمول پلانك پیروی می‌کند. هنگامی که اسبش را در رودخانه شستشو می‌داد، بی‌خبر بود که در مولکول‌های آبی که بدن اسبش را می‌شوید، دو اتم هیدروژن با یك اتم اکسیژن تحت زاویه‌ای در حدود ۱۰۵ درجه با یکدیگر ترکیب شده‌اند. بالاخره وقتی که او بدن اسبش را در آفتاب خشك می‌کرد، نمی‌دانست خشك شدن بدن اسبش، به سبب برخورد فوتون‌ها با پیکر اسب است.

از دیروز تا امروز، و از امروز تا هزاران سال بعد، طبیعت چندان تغییری نکرده است، و نخواهد کرد. خورشید همیشه از مشرق طلوع می‌کند، آب در صفر درجه یخ می‌بندد و آهن سرخ شده کم کم سرد می‌شود. ولی این مطلب نیمی از حقیقت را در بر دارد، زیرا که ما امروزه حقایق زیادتری را از طبیعت می‌دانیم، و به جای درماندگی در برابر پدیده‌های طبیعت آنها را کم و بیش به استخدام خود در آورده‌ایم، و قادریم که بسیاری چیزها را مشابه، و حتی خیلی بهتر از آنچه که در طبیعت وجود دارد، بسازیم.

نیاکان فیلسوف ما در طی هزاران سال اندیشه و تفکر به چهار اصل زیر معتقد شده بودند:

۱ـ جهان از چهار عنصر آب، خاك، آتش و هوا درست شده است.

۲ـ مواد این جهان چهارعنصری، از اتم های مختلف و غیرقابل تجزیه ای تشکیل شده‌اند.

۳ـ دو نیروی مختلف (مانند نیروهای نرینه و مادینه) و یا دو نیروی متضاد (مانند نیروهای خیر و شر) اتم‌ها و عناصر را به یکدیگر نزدیك و یا از همدیگر جدا می‌سازند. نیروهای یین و یانگ در فرهنگ کهن چین، نیروهای ایزاناگی و ایزانامی در فرهنگ کهن ژاپن، نیروهای ایزیس و اوزیریس در فرهنگ مصر باستان، نیروهای کین و مهر در فرهنگ یونان باستان، و نیروهای سپنتامینو (اهورامزدایی) و انگره مینو (اهریمنی) در فرهنگ ایران باستان از جملهٔ این نیروها به شمار می‌روند.

۴ـ کرهٔ زمین مرکز جهان است و همهٔ اجرام آسمانی به دور آن می‌چرخند.

اما در مورد این اصول، در طول سیصد سال اخیر، دانشمندان به ویژه شیمیدانان و فیزیکدانان و ستاره‌شناسان به نتایج دیگری به شرح زیر رسیده‌اند:

۱ـ آب، خاك، آتش و هوا عنصر نیستند و هر یك از عناصر مختلفی تشکیل شده‌اند. تعداد عناصر تشکیل دهندهٔ جهان، بیش از صد عنصر می‌باشد (عناصر جدول تناوبی مندلیف).

۲ـ همهٔ عناصر طبیعت، از اتم ها تشکیل شده‌اند. هر یك از اتم‌ها نیز از الکترون‌ها، و هسته (شامل پروتون‌ها و نوترون‌ها) ساخته شده است (مدل اتمی بور). پروتون‌ها و نوترون‌ها نیز از ذراتی به نام کوارك تشکیل شده‌اند.

اختلاف اتم‌های هر یك از عناصر، فقط در تعداد الکترون‌ها و پروتون‌ها و نوترون‌هایشان می‌باشد. کیمیاگران جهان، قرن‌ها در جستجوی ماده‌ای به نام کیمیا بودند تا بتوانند با کمك آن مس را به طلا تبدیل کنند. این آرزوی خام آنها، مستلزم دو مطلب است: الف ـ افزودن ۵۰ الکترون، ۵۰ پروتون و ۸۳ نوترون به هر یك از اتم‌های مس. ب ـ توانایی فنی جهت افزودن این تعداد ذرات به اتم‌های مس.

۳ـ چهار نیروی گرانش، الکترومغناطیسی، هسته‌ای قوی و هسته ای ضعیف بر جهان مادی حاکم هستند.

۴ـ زمین نه تنها مرکز جهان نیست، بلکه یکی از سیارات منظومهٔ شمسی است که به دور ستارهٔ خورشید می گردد. منظومهٔ شمسی نیز همانند هزاران منظومهٔ دیگر کهکشان راه شیری، به دور مرکز جرم این کهکشان می‌چرخد.

با توجه به چندین دلیل، از جمله سرعت دور شدن ستارگان و کهکشان‌ها از یکدیگر، احتمال داده می‌شود که در حدود ۱۵ میلیارد سال پیش، همهٔ مواد جهان در یك نقطهٔ بسیار چگال و داغ مجتمع بوده‌اند (گوی آتشین) که با یك انفجار بزرگ از یکدیگر دور شده‌اند. این ذرات در طول دور شدن، بر اثر

وجود نیروی گرانش و سردشدن تدریجی خود؛ اتم‌ها، مولکول‌ها، ستارگان، سیارات، کهکشان‌ها و سایر اجرام آسمانی را تشکیل داده‌اند. (تئوری انفجار بزرگ). سرنوشت آیندهٔ جهان (یعنی دور شدن ابدی اجرام آسمانی یا تجمع دوبارهٔ آنها در یك نقطه) به دو چیز بستگی دارد: الف ـ مقدار سرعت دورشدن اجرام آسمانی (ناشی از انرژی انفجار بزرگ) و ب ـ مقدار نیروی گرانش اجرام آسمانی (ناشی از جرم مواد سازندهٔ جهان).

در سال ۱۹۵۴ سازمان اروپایی پژوهش‌های هسته‌ای (سرن) در مرز سوئیس و فرانسه تأسیس گردید. این سازمان بزرگترین شتاب‌دهندهٔ ذرات بنیادی جهان را با کمك بسیاری از کشورها از جمله ایران احداث نموده است. دانشمندان در این شتاب دهنده، ذراتی مانند پروتون‌ها را به سرعتی نزدیك به سرعت نور رسانده و با یکدیگر تصادم می‌دهند تا بتوانند از نتایج این تصادم‌ها، اطلاعات بیشتری در مورد موضوعاتی مانند جنس ذرات بنیادی، ماهیت نیروهای حاکم بر جهان و چگونگی پدیدهٔ انفجار بزرگ به دست آورند.

در چاپ سوم این کتاب علاوه بر به روزرسانی مطالب فصل بیست و پنجم (برندگان جایزه نوبل در رشتهٔ فیزیك)، چکیدهٔ مطالب مهم کتاب نیز تحت عنوان «از کهکشان‌ها تا کوارك‌ها» گنجانده شده است. در این قسمت نگاهی کلی به تشکیل کهکشان‌ها، منظومه شمسی و کرهٔ زمین انداخته شده و همچنین مسیر تکامل علمی بشر در زمینهٔ کشف الفبای کتاب طبیعت مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعهٔ این چکیده و همچنین مطالعهٔ فصل بیست و چهارم (تولد، زندگی و مرگ جهان) به همگان پیشنهاد می‌شود.

نکتهٔ آخر آن که در هر زمانی، پیشتازان علوم همواره برخلاف دیگران، به ارزش‌های خاصی اعتقاد داشته و دارند، تا آنجا که روزی دموکریتوس (۳۷۰ـ۴۶۰ ق.م) گفته است: «کشف و فهم یکی از قوانین طبیعت را بر پادشاهی و امیری ترجیح می‌دهم.»

فصل اول

نظر متفکران یونان باستان

«پوستهٔ کرهٔ زمین متجاوز از هزار میلیون سال قبل شکل گرفته است، انسانهای نخستین نیز در حدود دومیلیون سال قبل می‌زیسته‌اند. آنان در برابر طبیعت موجودی بسیار ضعیف و ناتوان بودند، و همه چیز برایشان عجیب و ترسناك جلوه می کرد. در حدود ۷۰۰۰ سال قبل از میلاد بود که مردم از غارنشینی دست برداشته و زیستن در روستاها را آغاز کردند.»[۱]

با کشف آتش و استخراج فلزات، گامهای بلندتری برداشته شد و به این ترتیب عصر مس جایگزین عصر حجر گردید. زیرا که مس در طبیعت از بقیه مواد فراوانتر و ذوب کردنش نیز آسانتر بود. «این دورهٔ مس ۳۰۰۰ سال قبل از میلاد در مصر و بین النهرین شروع شد، ولی در اروپای مرکزی و غربی از ۱۸۰۰ سال قبل از میلاد آغاز گشت.»[۲]

دورهٔ مفرغ به فاصلهٔ نزدیکی، پس از آن آغاز گردید. زیرا روزی برحسب تصادف مقداری قلع و مقداری مس در حالت مذاب با هم مخلوط شدند، و آلیاژ مفرغ را بوجود آوردند.

سپس تکامل فنی به تدریج تکامل فکری را نیز موجب گشت. و جهان اسرارآمیز روز به‌روز برای بشر، شناخته‌تر و دوست داشتنی‌تر گردید. اکنون می‌دانیم که شعله از احتراق گازها پدید می‌آید، اما همین شعله برای نیاکان ما در حکم یك معما، و حتی به مثابهٔ چیزی که

---

۱. سرگذشت دانش، اثر ادموندهانتر، ترجمهٔ کلودکرباسی، انتشارات همگام، صفحه ۴

۲. تاریخ علوم، اثر پی یر روسو، ترجمهٔ حسن صفاری، انتشارات امیرکبیر، صفحه ۲۲

می بایست بسان یك خدا پرستیده شود، تلقی می گردید.

با گذشت قرنها و رشد شهرنشینی تمدنهای نوینی بوجود آمدند. در حدود ۳۰۰۰ سال قبل از میلاد بود که تمدنهای مصر و بابل جلوه گر شدند و رو به شکوفایی نهادند. ولی باید توجه داشت که علم در آن دوران، بیشتر در خدمت رفع نیازمندیهای جامعه بود تا در جهت اقناع حس کنجکاوی بشر... حال می پردازیم به یکی از نقاط عطف تاریخ تکامل بشر، تمدنی بحث انگیز به نام تمدن یونان باستان:

متفکران یونان باستان، جهان را کتابی می‌دانستند که درپی کشف‌الفبایش بودند. همان‌طور که از ترکیب حروف کلمات، و از تجزیه کلمات، حروف به‌وجود می آیند، یونانیان نیز در جهان‌شناسی های خود به وجود اصل یا اصلهای نخستین که به آن آرخه[3] می گفتند، معتقد بودند.

به گمان طالس[4] (تالس) ـ پدر فلسفه یونان ـ (۵۵۰-۶۴۰ ق. م) همه چیز از آب بوجود آمده و همه چیز دوباره به آب تبدیل می شود. شاید به دلیل بندر بودن محل سکونت و مجاورت همیشگی طالس با آب، و نیز مشاهدهٔ دگرگونیها و تغییر شکلهای آب به صورت مایع، جامد، بخار، ابر و باران وی را به این نتیجه رسانیده بود که اشیا می بایستی شکلهای گوناگون آب باشند. و در نتیجه آب را می بایستی به عنوان تنها آرخه و مادة المواد جهان در نظر گرفت.

ارسطو می نویسد: «که طالس این عقیده را از تاثیر باران در نمو گیاهان، از رطوبت مادهٔ تناسلی در حیوان و از رطوبت اجساد حیوانات به هنگام تلاشی و انحلال دریافته است.»[5]

طالس زمین را نیز مشابه چوبی استوانه ای شکل در نظر می گرفت که گویی برسطح آبی شناور گردیده است. در نتیجه زمین لرزه را هم ناشی از حرکات شدید سطح آن آب به‌حساب می‌آورد.

چون با قبول آرخه بودن آب نمی توان راز پیدایش اشیا را توضیح داد و نمودهای طبیعی را توجیه کرد، و صدور یا ایجاد این همه اشیا را فقط از یك مادهٔ اولیه تصور نمود، آناکسیماندورس[6](۵۴۷-۶۱۰ ق. م) یکی از شاگردان طالس اصل اولیه یا جوهر طبیعت را

---

3. Arche 4. Thales

۵. تاریخ فلسفه در جهان اسلامی، اثر حنا الفاخوری و...، ترجمه عبدالحمید آیتی، انتشارات زمان، صفحه ۳۰

6. Anaximandros (انکسیمندروس)

ماده ای فرض می کند که نه از لحاظ کمیت متعین است و نه از لحاظ کیفیت، و از این رو آن را آپایرون[۷] یعنی ماده نامتعین می نامد که دارای خصلت غیر قابل تعریف بوده و از نظر مقدار نیز تابی نهایت ادامه دارد. از این مادهٔ اولیه، تضادهای گوناگونی چون سرما، گرما، خشکی و رطوبت برخاسته اند، هرتولدی از جداسازی تضادها پدید آمده و هرنوع مرگ و نیستی با اجتماع آنها به وقوع می پیوندد.

آناکسیمنس[۸] (۵۲۸ـ۵۸۵ ق. م) یکی دیگر از اندیشمندان یونان، هوارا اصل عالم می داند، زیرا که هوا بیشتر از آب قابلیت تغییر شکل و حالت دارد. در روند غلیظتر شدن، هوا نخست تبدیل به آب و سپس تبدیل به خاك می گردد. و از طرفی سبکتر شدن هوا نیز سبب پیدایش آتش می شود. آن قدر در بارهٔ فرضیهٔ آناکسیمنس اغراق نخواهیم کرد تا مدعی شویم که وی غلظت گازها و منجمد شدن مایعات را پیش گویی کرده است زیرا فرضیه های علمی قدیم آن قدر کلی و رمزآلودند که هیچ تفسیر خاصی بر آنها نتوان داد.

به هرحال به گمان آناکسیمنس زمین مرکزعالم است. «و اجرام آسمانی و ستارگان نیز در اثر صعود بخارها از زمین به فضای بالا بوجود می آیند»[۹] که در آن بالا بخارها رقیقتر شده و آتشین می شوند. این اجرام آسمانی همگی مانند خود زمین در هوا قرار دارند. از نظر آناکسیمنس چون آتش در بالای زمین از عمل باز بماند، به ابر تبدیل شده و سپس به صورت باران فرو می ریزد.

کسنوفانس[۱۰] (۴۷۵ـ۵۷۰ ق. م) معتقد بود که همه چیز از خاك بوجود آمده و همه چیز در خاك پایان می یابد. وی در جای دیگر می گوید: «همه چیز که پدید می آید و رشد می کند خاك است و آب»[۱۱]. کسنوفانس می دانست که «شناخت ما کاری حدسی و اعتقادی است. یعنی بیش ازآنکه معرفت باشد، عقیده است. و این مطلب از اشعار او بدست می آید:

خدایان از آغاز، همه چیز را بر ما آشکار نمی کنند
بلکه در طول زمان و از طریق جستجو
می توانیم چیزها را بهتر بدانیم و بشناسیم

---

7. Apieron　8. Anaximenes (انکسیمانس)

۹. نخستین فیلسوفان یونان، اثر شرف الدین خراسانی، انتشارات جیبی، صفحه ۱۴۹

10. Xenophanes (گزنوفن)

۱۱. نخستین فیلسوفان یونان، صفحه ۱۶۴

و اما نوعی حقیقت است که هیچکس آن را درنیافته،
و هرگز درنخواهد یافت، نه از خدایان
و نیز نه از هرچیز که از آن سخن می گویم
و اگر برحسب اتفاق چنان شود که کسی «حقیقت نهایی» را
بیان کند
خود آن را نخواهد دانست
چه، همه چیز جز تاروپود به هم بافتهٔ حدسها چیزی نیست.»[۱۲]

از نظر هراکلیتوس[۱۳] (۴۸۴ـ۵۴۴ ق. م) آتش، اصل نخستین است، چون در میان عناصر، آتش سبکترین و سریعترین آنهاست. آتش همه چیز را در خود جذب می کند و هیچ چیز نیست که آتش از جذب آن ناتوان باشد، و همه چیز درحال تغییر و جنبش است. خاك به صورت آب، آب به صورت ابر، و سرانجام ابر به صورت هوا درمی‌آید، هوا نیز ملتهب شده و به صورت آتش باز می گردد. آتش همان زئوس خدای جاوید یکتاست. درحالی که دیگر خدایان چون از آتش نیستند، یکی پس از دیگری فانی می‌شوند. روح نیز که اصل حیات است، چیزی جز شعله‌ای ازآتش ازلی نیست.

فیثاغورس یا پیتاگوراس[۱۴] (۴۹۷ـ۵۷۱ ق. م) که بانی عرفان ریاضی بود، عدد را اصل نخستین جهان اعلام کرد. در نزد او اشیا و اجزاء جهان هریك با عددی مطابقت دارند، و عدد، حقیقت آنهاست. برای مثال، او عدد یك را با نقطه، مطابقت می‌داد که نمودار وحدت و یگانگی است: «و برهمین منوال عدد سه با مکان، عدد شش با رطوبت، عدد هفت با عقل و نور، عدد هشت با عشق و صداقت، عدد نه با تفکر، و عدد ده یادکا[۱۵] که محتوی همهٔ این اعداد است با طبیعت الهی مطابقت پیدا می‌کند.»[۱۶] به خاطر تقدس همین عدد ده بود که به گمان فیثاغورسیان، ده سیاره شامل زمین، خورشید و سیاره‌ای فرضی به نام ضدزمین همراه با ۷ سیارهٔ شناخته شده دیگر به دور آتش جهانی می‌چرخند.

چون فیثاغورسیان اعداد صحیح را اصل جهان می‌دانستند، و آنها را با سنگریزه یا نقطه

---

۱۲. حدسها و ابطالها، اثر کارل ریموند پوپر، ترجمه احمد آرام، شرکت سهامی انتشار، صفحه ۳۲

13. Herakleitos (هرقلیطوس)   14. Puthagoras   15. Deka

۱۶. تاریخ فلسفه در جهان اسلامی، صفحه ۳۵

نشان می‌دادند، با کشف عدد $\sqrt{۲}$ یعنی وتر مثلث قائم‌الزاویهٔ متساوی الساقینی که ابعادش واحد باشد، فرضیهٔ آنان دچار اشکال شد. گویا فیثاغورسیان یکی از دوستان خود به نام **هیپاسوس** را به خاطر کشف و بیان این مطلب در دریا غرق نمودند. «گفتنی است که در ظاهر لفظ فیلسوف از اختراعات فیثاغورس است. به این معنی که در یونان، حکیم یا خردمند را «سوفوس»، و حکمت و دانش را «سوفیا» می‌گفتند. فیثاغورس گفت ما هنوز لیاقت آن را نداریم که خردمند خوانده شویم ولیکن چون خواهان حکمت هستیم باید ما را فیلوسوفوس خواند یعنی دوستدار حکمت، و همین لفظ است که فیلسوف شده و واژهٔ فلسفه (فیلوسوفی) از آن مشتق گردیده است.»[۱۷]

سرانجام **امپدوکلس**[۱۸] (۴۲۳ـ۴۸۳ ق. م) درپی حل مسئلهٔ وحدت و کثرت در جهان هستی، عناصر سازندهٔ گیتی را شامل چهار عنصر آب، هوا، خاك، و آتش در نظر می‌گیرد، که این عناصر تحت تأثیر دونیروی متقابل عشق و کینه با یکدیگر ترکیب شده و یا از هم جدا می‌گردند، و اجسام و اشیای مختلف را بوجود می‌آورند. از نظر امپدوکلس این چهار عنصر مستقل از هم و غیر قابل تبدیل به یکدیگرند.

آناکساگوراس[۱۹] (۴۲۸ـ۵۰۰ ق. م) برخلاف شاگرد خود امپدوکلس، به چهار عنصر اصلی معتقد نبود. بلکه او به عناصر متعدد و نامتناهی باورداشت. از نظر او جهان در آغاز مغشوش و درهم و محتوی تخمه‌های بی‌شمار پراکنده‌ای بود که بدون مقصد درهم می‌لولیده اند؛ تا اینکه عقل یا نوس[۲۰] آمد و نظمی به آشفتگیها داد، و از آن همه تخمه‌ها، اشیا و اجسام مختلف جهان را بوجود آورد.

به گمان آناکساگوراس تخمه یا اسپرمات تمام اشیا در هر شیئی وجود دارد، منتهی در هر شیئی تخمهٔ مخصوص آن شیء بر سایر تخمه‌های موجود غالب است.

دموکریتوس[۲۱] (۳۷۰ـ۴۶۰ ق. م) همانند استادش لئوسیپوس[۲۲] به دو اصل اولیه معتقد بود: یکی اتم[۲۳]، به معنای غیر قابل تقسیم، و دیگری خلاء. که اتمها در محیط خلاء حرکت کرده و با یکدیگر ترکیب و یا از یکدیگر جدا می‌شوند.

---

۱۷. سیر حکمت در اروپا، اثر محمدعلی فروغی، انتشارات زوار، صفحه ۷

18. Empedokles (انباذقلس) 19. Anaxagoras (انکساغورس) 20. Nous

21. Demokritos (ذیمقراطیس) 22. Leucippus 23. Atom

از نظر دموکریتوس، اتمها برخلاف تئوری آناکساگوراس، از لحاظ خصوصیت و کیفیت با یکدیگر هیچ فرقی ندارند. بلکه فقط از نظر شکل، وضع و چگونگی توزیع شان دراجسام دارای اختلافند. اتمها دارای شکلهای مختلف هستند. برای مثال، برخی از آنها گوشه‌دار، برخی قلاب مانند و برخی میان گود و فرو رفته اند. آنان به هم آویخته اند و با هم متحد می مانند، تا زمانی که جبری نیرومندتر از بیرون بیاید و آنها را از هم جدا کند. دموکریتوس به هر یك از طعمها نیز شکلی نسبت می‌دهد. برای مثال، طعم شیرین را معلول اتمهای گرد و میان حجم می‌داند، طعم گس را ناشی از اتمهای بزرگ و خشن و چند گوشه و ناگرد و طعم روغنی را از اتمهای گرد و صاف و لطیف و کوچك تصور می کند.

«در افسانه ها گفته می شود که روزی دموکریتوس در ساحل دریا برروی سنگی نشسته بود و سیبی را در دست داشت. او به خود می گوید: اگر سیبم را به دو نیم کرده و یك نیمه را بخورم، آنگاه نصف دیگرش برایم باقی می ماند؛ و اگر این نیمه رانیز به دو نیم کرده و باز نیمی را بخورم، آنوقت ۱/۴ سیب باقی می ماند؛ خوب اگر این کار را ادامه دهم به ترتیب ۱/۸، ۱/۱۶، ۱/۳۲ و...... از سیب در دست من باقی خواهد ماند. آیا در روند این تقسیم کردنها به ذره ای خواهم رسید که دیگر نتوانم آن را به دو قسمت تقسیم کنم؟»[۲۴]

سرانجام دموکریتوس به این نتیجه می‌رسد که چنین تقسیمی دارای حدی است و این آخرین قسمت غیر قابل تقسیم را اتم یعنی تقسیم ناپذیر نامید. ولی او قادر نبود این فرضیه خود را در عمل به دیگران ثابت کند. مخالفان نظریهٔ اتمی او و از جمله ارسطو می گفتند: از یك طرف نحوهٔ اتصال اتمها به یکدیگر نامشخص است. (بویژه در مورد اتمهای کروی شکل) و از طرف دیگر در جریان تقسیم سیب می توان این تقسیمات را تا بی نهایت ادامه داد. زیرا از نظر عملی هرچند که ممکن است عمل تقسیم کردن رانتوان زیاد ادامه داد، ولی از نظر ذهنی نمی‌توان چیزی را تصور کرد که آن چیز نتواند به دو قسمت تقسیم شود.

گروهی از پژوهشگران گاهی سعی می کنند که بعضی از اقوام و یا افراد تاریخی را متعصبانه (و متأسفانه) خیلی بیشتر از آنکه بوده اند معرفی بنمایند. برای مثال برخی از آنان دو نیروی مهر و کین نظریهٔ امپدوکلس را همپایهٔ اصول نیروی جذب به مرکز و نیروی گریز ازمرکز توصیف می کنند. و یا نظریهٔ آناکساگوراس را بیان بی‌کم و کاست اصل بقای جرم جلوه

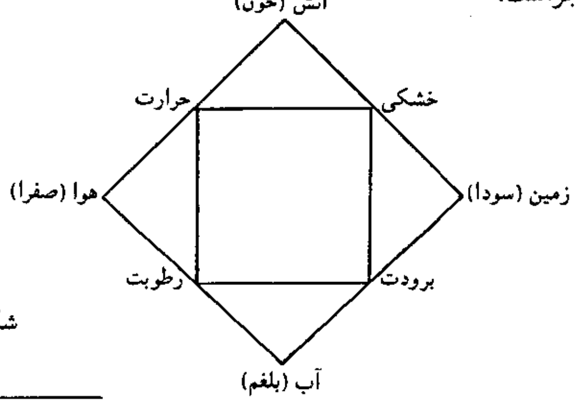
۲۴. در آنسوی کوانت، اثر ل. پانوماریف، ترجمه هوشنگ طغرایی، انتشارات میر، صفحه‌های ۱۲ و ۱۳

می‌دهند. گروهی نیز نظریهٔ اتمی دموکریتوس را کاملترین و بهترین اندیشهٔ یونانی به‌حساب می‌آورند، و اتم او را همان اتم بور و راترفورد می‌دانند، در صورتی که هرگز چنین نیست.

پیازی اسمیت[۲۵] (۱۹۰۰_۱۸۱۹ میلادی) منجم انگلیسی نیز معتقد بود که مصریان قدیم، اهرام خود را براساس محاسبات و روابط ریاضی و نجوم قرن بیستم طراحی کرده‌اند. او دلایل چندی را نیز برای اثبات مدعای خود بیان می‌کرد. اما **سرفلیندرز پتری**[۲۶] دانشمند انگلیسی (۱۹۴۲_۱۸۵۳ میلادی) در این مورد حکایت جالب زیر را تعریف می‌کند:

«نمی‌دانید چه یأس و حیرتی بر یکی از مریدان اسمیت دست داد زیرا روزی او را دید که مشغول سوهان زدن و تراشیدن دیوار سنگی کفش کن اطاق شاهانهٔ هرم خئوپس است و می‌خواهد آن را مساوی با مقادیری کند که انتظار داشت از راه محاسبه بدست آید.»[۲۷]

در جستجوی کشف اسرار کتاب طبیعت، سرانجام دیدیم که امپدوکلس با توجه به نظریات دیگر متفکران به این نتیجه رسید که جهان از چهارعنصر آب، خاك، هوا و آتش تشکیل شده است. دیگران نیز به این چهار عنصر، کیفیت های گرم و سرد وخشك و مرطوب را نسبت دادند، که این چهار کیفیت چهار طبع صفرا (حاصل از کبد)، سودا (حاصل از طحال)، بلغم و دم را بوجود می‌آوردند. از نظر **بقراط**[۲۸] پدر علم پزشکی یونان، (۴۶۰_۳۷۰ ق. م) سلامتی بدن انسان نتیجهٔ هماهنگی این چهار طبع است و هر بیماری به علت کم و زیاد شدن یکی از این اجزاست.



شکل ۱_۱. نمایش فرضیهٔ بقراط

25. Piazzi Smith
26. Sir Flinders Petrie
۲۷. تاریخ علوم، اثر پی یر روسو، ترجمهٔ حسن صفاری، انتشارات امیرکبیر، صفحه ۳۷
28. Hippocrate

نظریهٔ چهار عنصری امپدوکلس تا مدتهای زیاد بر جهان فیزیك و فلسفه مسلط بود. متفکرانی که از وجود وسایلی چون دماسنج، ترازوی دقیق، میکروسکوپ، تلسکوپ و فشارسنج و... محروم بودند، چه می‌توانستند بکنند؟ آنان مجبور بودند با اندك نتایج حاصل از مشاهدات و آزمایشهای محدودشان، نمودهای این جهان اسرارآمیز و شگفت‌انگیز را تجزیه و تحلیل کنند، و به جای کمیت، کیفیت را تنها وجه اختلاف پدیده‌ها بدانند. آنان برای شناخت جهان بسیار کوچك اتمها و جهان بسیار بزرگ کهکشانها، فقط و فقط حواس پنجگانهٔ بسیار محدود خود را در اختیار داشتند و ذهنی را که به هر حال در آتش کشف الفبای اسرار جهان می‌سوخت. برای مثال:

افلاطون[۲۹] (۴۲۷_۳۲۷ ق. م) به پیروی از امپدوکلس، عناصر جهان را، چهارتا می‌دانست و برای هرعنصری، نوعی اتم را تصور می‌کرد. «به این شکل که اتمهای خاك را مکعب شکل، اتمهای آتش را چهار وجهی منتظم، اتمهای هوا را هشت وجهی منتظم و اتمهای آب را بیست وجهی منتظم در نظر می‌گرفت.»[۳۰]

به عقیدهٔ او اگر بر این چهار شکل هندسی وجوهی افزوده و یا کاسته گردد، می‌توان بعضی از آنها را به بعضی دیگر تبدیل کرد. اما به افلاطون اطلاع دادند که یك چند وجهی متجاوز دیگر نیز وجود دارد که دارای دوازده وجه می‌باشد، و گویا استاد به این دوازده وجهی توجهی نکرده است.

به هرحال، افلاطون که به هندسی بودن جهان باور داشت بر سر درِ آکادمی یا آموزشگاه خود نوشته بود: «هرکس که هندسه نمی‌داند اینجا داخل نشود.» از نظر او عالم کروی شکل است، زیرا که کره زیباترین و کاملترین شکل ممکنه می‌تواند باشد. همچنین بنابه عقیدهٔ افلاطون «خداوند یك مهندس جاویدان است».[۳۱]

ارسطو[۳۲] (۳۲۲_۳۸۴ ق. م) که از شاگردان افلاطون بود برای هرکدام از چهار عنصر، دوصفت از کیفیات چهارگانهٔ رطوبت، خشکی، گرما و سرما را نیز در نظر می‌گیرد. به این ترتیب که خاك؛ طبیعتی خشك و سرد، آب؛ طبیعتی سرد و مرطوب، آتش؛ طبیعتی خشك و گرم، و هوا؛ طبیعتی گرم و مرطوب دارد. تغییر هریك از این ویژگیها عامل پیدایش هرنوع تغییر و تحول در

---

29. Ploton

۳۰. نهاد ناآرام جهان، اثر عبدالکریم سروش، انتشارات دفتر نشر، صفحه ۱۵

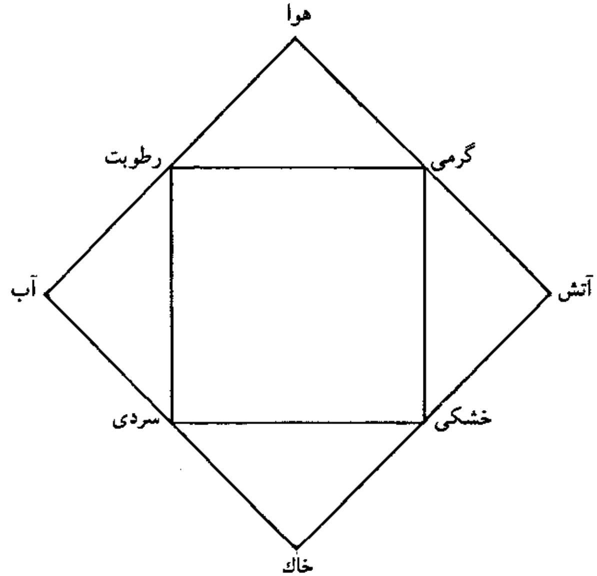
۳۱. تاریخ فلسفه، اثر ویل دورانت، ترجمهٔ عباس زریاب خویی، انتشارات جیبی، صفحه ۴۶

32. Aristotelesse

اجسام و طبیعت است. برای مثال اگر به آب حرارت دهیم، سرما تبدیل به گرما شده و آب با کسب گرما تبدیل به هوا می شود. (در حقیقت با اتکا به این گونه نظریه‌ها بود که کیمیاگران درپی تبدیل مس به طلا بودند.)

از نظر ارسطو، زمین چهارعنصری مرکز عالم بوده و افلاك متحدالمرکز که از اثیر بوجود آمده اند، در اطراف زمین حرکت می کنند. او می گوید:

«حرکت خطی و طبیعی اجسام، نامنظم و محدود است. کمال حرکت را باید در حرکت دورانی جستجو کرد که حرکتی است ابدی. علت اصلی این حرکت، عنصر پنجمی است به نام اتر یا اثیر»[۳۳] از اینرو افلاك آسمانی همگی از اتر ساخته شده اند و به همین دلیل هیچ گونه فساد و تباهی و تغییری نیز در آنها روی نمی‌دهد.



شکل ۱ـ۲. نمایش فرضیه ارسطو

تصور می شد که هر عنصری دارای دوکیفیت از کیفیات چهارگانه است.

۳۳. سیری در تاریخ اتم، اثر کاظم عضوامینیان، انتشارات جیران، صفحه ۳۸

ارسطو تئوری چهارعنصری امپدوکلس را فقط در مورد کرهٔ زمین می‌پذیرد، لیکن نظریهٔ دموکریتوس مبنی بر اینکه این عناصر از ذرات غیرقابل تقسیم (یا اتمها) ساخته شده اند را هم قبول ندارد. او همچنین منکر وجود خلاء در طبیعت می شود و آن را امری غیرممکن تلقی می کند و می گوید که طبیعت از خلاء، وحشت بسیار دارد.

فصل دوم

نظر متفکران هند و چین باستان

تمدن هند در کنار رود گنگ شکل گرفت. فلسفه‌ها و مذاهب هندی به طور کلی به دو گروه تقسیم می‌شوند:

۱ـ ناستیکا[1] که شامل سه مکتب بودایی، جین، و چارواکا است. آنان به آسمانی بودن کتابهای ودایی معتقد نبودند.

۲ـ آستیکا[2] که شامل شش دین هم ریشهٔ هندی است که به وداها معتقدند. آنان شامل مکاتب نیایا، وی‌شیشیکا، سانکهیا، یوگا، ودانتا و پوروامی مانسا می‌باشند.

مکتب جین[3]، ۵۰۰ سال قبل از میلاد توسط مهاویرا پایه‌ریزی شده است. «از نظر پیروان این مکتب عناصر اربعه یعنی زمین، خاك، هوا و آتش از ذرات[4] تشکیل شده اند و همگی دارای نوعی نفس نیز هستند.»[5]

از دیدگاه چارواکا[6] بانی مکتب لوکایاتا[7] «جهان تشکیل شده است از چهار عنصر خاك، آب، آتش و هوا.»[8]

---

1. Nastika 2. Astika 3. Jain 4. Anu

۵. ادیان و مکتبهای فلسفی هند، داریوش شایگان، انتشارات امیرکبیر، صفحه ۲۰۳

6. Caravaka 7. Lokayata

۸. ادیان و مکتبهای فلسفی هند، صفحه ۲۱۴

در برخی متون از عنصر پنجمی نیز به نام اتر یا اثیر یاد شده است. هریك از این عناصر نوع ویژهٔ اتمهای خود را دارد، که تغییرناپذیر و فناناپذیرند. خصوصیات یك جسم نیز به نوع اتمهایی که آن جسم مزبور از آنها تشکیل یافته و به نسبتی که آن اتمها با یکدیگر ترکیب شده اند بستگی دارد.

بوداییان معتقدند که «کلیهٔ عناصر از ذرات تشکیل یافته اند. ذرات یا اتمهای زمین درشت و منجمدند و حالت ظهور آنان، مقاومت است؛ ذرات آب به هم پیوسته و مجهز به نیروی جاذبه هستند؛ ذرات آتش چون حرارت نمایان می شوند؛ و ذرات هوا نیز متحرك اند.

این چهار عنصر بزرگ در کلیهٔ اشیا به نسبت متساوی ظاهر می شوند. برای مثال، در آتش، همان اندازه عنصر آتش هست که در چوب یا آب وجود دارد. در نتیجه، یگانه وجه تمایز این عناصر، شدت و ضعف کیفی ذرات موجود در آنان است».[۹]

بنیانگذار این مکتب، **سیذارتا گوتاما** (۵۴۰ـ۴۶۸ ق.م) شاهزادهٔ هندی است که بعدها به نام **بودا** مشهور گشت.

از نظر مکتب نیایا[۱۰] (از ادیان ششگانهٔ هند) حواس پنجگانه (بینی، زبان، چشم، پوست و گوش) از عناصر پنجگانهٔ خاك، آب، آتش، هوا و اثیر[۱۱] پدید می آیند. «بو، موضوع ادراك بینی و کیفیت ممیزه خاك است. مزه، موضوع ادراك زبان و کیفیت ممیزه آب است. رنگ، موضوع ادراك چشم و کیفیت ممیزه آتش است. لمس پذیری، موضوع ادراك پوست و کیفیت ممیزه هوا است. و سرانجام صوت نیز موضوع ادراك گوش و کیفیت ممیزه اثیر است.»[۱۲]

یکی از کتابهای مکتب وی شیشیکا[۱۳]، وی شیشیکاسوترا نام دارد که توسط شخصی به نام **کانادا**[۱۴] یا **کانابوج** (که در حدود ۶۰۰ تا ۳۰۰ سال قبل از میلاد می زیسته) نوشته شده است. به عقیدهٔ کانادا تقسیم بی پایان ماده، حرف مهملی است. و مستلزم آن است که دانهٔ خردل را همان کوه بدانیم. زیرا که هر دو دارای بی نهایت جزء هستند و بی نهایت نیز همواره معادل بی نهایت است.

---

۹. ادیان و مکتبهای فلسفی هند، صفحه ۳۶۱

10. Nyaya 11. Akasa

۱۲. ادیان و مکتبهای فلسفی هند، صفحه ۴۴۹

13. Vaisesika 14. Kanada

«مکتب جین معتقد بود که ذرات از لحاظ کیفی مانند یکدیگرند. و هریك از آنان دارای کیفیات رنگ و مزه و بو بوده و مستعد ایجاد صوت اند اما از نظر مکتب وی شیشیکا عناصر پنجگانه[15] از ذراتی تشکیل شده اند که از لحاظ کیفی با یکدیگر متفاوتند.»[16]

ترکیب ذرات طبق این مذهب به این شکل است که دو ذره به هم می آمیزند و یك مولکول دوذره ای تشکیل می دهند. سه مولکول دوذره ای گرد هم می آیند و یك مولکول سه ذره ای[17] تشکیل می دهند، و الی آخر.... تا اینکه اجسام مرکب بزرگی ظاهر بشوند؛ این ذرات همچنین دارای نیروی مرموزی هستند که آنان را به هم متصل می سازد.

«از نظر مکتب سانکهیا[18]، پنج عنصر لطیف عبارتند از قوای شنوایی، بویایی، لامسه، چشایی، و بینایی. (البته نیروهای بالقوه نه اعضای حسی) و پنج عنصر کثیف عبارتند از: اثیر، هوا، آتش، آب و خاك. که عناصر پنجگانهٔ کثیف از عناصر لطیف بوجود می آیند، در حالیکه پنج عنصر لطیف از بوتادی زاده می شوند.

عناصر کثیف نیز مرکب از ذراتند. قوهٔ شنوایی بر اثر آمیزش با یك واحد مادی ناشی از بوتادی (یعنی حالتی که در آن خودآگاهی متأثر از جوهر مادی است) اثیر را پدید می آورد. قوهٔ لامسه با قوهٔ شنوایی ترکیب می یابد، و ذرات هوا را بوجود می آورد. قوهٔ بینایی که شامل نور و حرارت است با قوهٔ لامسه و شنوایی ترکیب می یابد و ذرات آتش را ایجاد می کند. قوه چشایی با قوای بینایی و لامسه و شنوایی می آمیزد و ذرات آب را بوجود می آورد. سرانجام قوهٔ بویایی نیز با چهار قوهٔ دیگر ترکیب می یابد و ذرات خاك را پدید می آورد. در نتیجه:

اثیر = نیروی بالقوهٔ شنوایی + منشأ آفرینش عنصری[19] (یا بوتادی)

هوا = نیروی بالقوهٔ لامسه + اثیر

آتش = نیروی بالقوهٔ بینایی + هوا

آب = نیروی بالقوهٔ چشایی + آتش

خاك = نیروی بالقوهٔ بویایی + آب

بنابراین با توجه به روابط بالا می توان اثیر را اصل و مبدأ چهار عنصر دیگر دانست و آن را

15. Panca Bhuta

۱۶. ادیان و مکتبهای فلسفی هند، صفحه ۴۹۷

17. Tryanuka 18. Sankhya 19. Bhutadi

به «ام العناصر» تعبیر کرد.[۲۰]

وانگ چونگ[۲۱] (۱۰۴ـ۲۷ میلادی) فیلسوف چینی در کتاب اصلی خود به نام «لون هنگ» منشأ همه چیز در جهان را از عنصر «چی» می‌دانند، و انسان را نتیجهٔ تمرکز و تراکم چی تعریف می کند.

بنا به یکی از سنن قدیم چین نیز، همه چیز از برخورد دواصل بوجود می‌آید: یانگ[۲۲] و یین[۲۳]، که یانگ اصل مذکر و یین اصل مؤنث نام داشت. یانگ وابسته به آسمان، خورشید و هرنوع خصوصیت فعال و سازنده، و یین وابسته به زمین و ظلمت و تاریکی و هرنوع خصوصیت غیر فعال و ساکن بود. گویا از گذشته‌های دور، جنس مؤنث هیزم تری به بانیان اینگونه فلسفه‌ها فروخته است.

متفکران باستانی چین، اجسام را متشکل از پنج عنصر بنیادین فلز، چوب، خاك، آب و آتش تصور می کردند. به دنبال آن پس از پیدایش نظریهٔ «یین و یانگ» در حدود شش قرن قبل ازمیلاد فیلسوفی به نام لائوتسه (Lao—Tseu) در کتابش به نام «تائوته کینگ» که اساس آیین اوست، می‌گوید که تمام اشیا توسط قوهٔ مجهولی به نام تائو (به معنی راه و طریق) کنترل می شوند؛ و بشر باید با نفی اعمال آگاهانه، انزواطلبی و زندگی زاهدانه در جستجوی آن برآید.

بعدها تائوگرایان برای توجیه و تفسیر پدیده های طبیعت، از دو نظریهٔ قدیمی «یین و یانگ» و «پنج عنصر» کمك گرفتند. در سدهٔ دوم قبل از میلاد، تائوگرایان در کتابی به نام «هوینان تسو» چنین نوشتند:

«... آنگاه تائو از هیچ و سکوت پدید آمد؛ و از هیچ و سکوت، زمان و مکان تولد یافت و سپس از زمان و مکان جوهر ازلی آفریده شد. جوهر ازلی خود به دو قسمت گردید؛ قسمتی که باریك و فرار می‌نمود، به جریان درآمده و آسمان را پدید آورد؛ و آن قسمت که سنگین و ثقیل می‌نمود. متراکمتر گشته و زمین را بوجود آورد.... یین و یانگ از تمرکز جوهرهای آسمان و زمین ناشی گردید و جوهر یین و یانگ نیز به واسطهٔ تمرکزش فصول چهارگانه را بوجود آورد. همان طور که از گرمای موجود در یانگ آتش و خورشید بوجود آمدند، از سرمای موجود در یین نیز آب وماه شکل گرفتند. سپس به واسطهٔ کنشهای متقابل خورشید و ماه، اجرام سماوی رو به تکوین نهادند.»

۲۰. ادیان و مکتبهای فلسفی هند، صفحه‌های ۶۰۶ و ۶۰۷

21. Wange Chung 22. Yang 23. Yin

فصل سوم

نظر متفکران خاورمیانه

مانی (۲۷۲_۲۱۵ میلادی) معتقد بود که انسان قدیم با پنج اسلحه که عبارت از پنج اندام زمین بودند، یعنی نسیم (اثیر)، باد، خاك، آب و آتش مسلح و مجهز گشت و به جنگ اهریمن رفت.

مزدك (۵۲۹_۴۵۴ میلادی) «عناصر این جهان را آب و آتش و خاك در نظر می گیرد.»[۱] و چون این سه عنصر را متعلق به همگان می‌داند به برابری انسانها معتقد می گردد. «استاد مطهری در کتاب مقالات فلسفی نظر متفکران اسلامی در بارهٔ اتم را به سه دستهٔ مختلف تقسیم می نماید:

۱_ عناصر، یك واحد پیوسته را تشکیل می‌دهند و تا بی نهایت قابل تقسیم می باشند. این رأی ارسطو و پیروان او از جمله ابوعلی سینا (۴۲۸_۳۷۰ هـ. ق، برابر با ۱۰۳۷_۹۸۰ میلادی) است.

۲_ هرکدام از اجسام مجموعه ای از ذرات کوچك نامحسوسند و هریك از آن ذرات دارای طول و عرض و ارتفاعند. واحد حقیقی جسم همان ذرات است نه جسم محسوس. این رأی ذیمقراطیس (دموکریتوس) و پیروان او از جمله زکریای رازی (۳۱۳_۲۵۱ هـ. ق) است.

---

۱. مبانی فلسفه، اثر آصفه آصفی، انتشارات مدرسه عالی قزوین، صفحه ۱۸۵

۳ـ هرجسم مرکب است از مجموعه ای از ذرات، که آن ذرات در عین اینکه شاغل مکان و فراهم آورندهٔ جسمند، فاقد هرگونه ابعاد ریاضی می باشند. این نظریه، منسوب به حکمای هند و متکلمین اسلامی از جمله معتزلیان است. متکلمین، این ذرات را جوهر فرد یا جزء لایتجزا می خوانند. این جوهرهای فرد نه تنها در عمل قابل تقسیم نمی باشند، بلکه با فرض ذهنی نیز نمی توان برای آنها ابعاد فرض کرد.»[۲] از نظر معتزله، لازمهٔ قابلیت تقسیم شدنهای بی پایان این نیست که ممکن باشد جسم به ذرات غیرمتناهی تبدیل گردد، زیرا که این تقسیمهای متوالی تا ابد هم که ادامه یابد باز همیشه ذرات جسم متناهی است، و جسم واحد به اجزای لایتناهی تبدیل نمی شود. بنا به عقیدهٔ ملاصدرا (۱۰۵۰ـ۹۸۰ هـ ق)، حتی اگر به فرض محال اجزاء جسم را هم غیر متناهی بدانیم، این اجزاء نامتناهی سبب شده اند که حجم متناهی بوجود آید.

ابوریحان بیرونی (۴۴۲ـ۳۶۲ هـ ق، برابر با ۱۰۴۸ـ۹۷۳ میلادی) در مقام انتقاد از فلسفه های ارسطویی، طی نامه ای، هجده پرسش مختلف از **ابوعلی سینا** پرسیده است. دومین پرسش او به این مضمون است که «چرا ارسطو در دوجای کتاب خود تطابق توصیف مردم قرون گذشته با وضع فعلی فلك را، دلیل ثبات و یك نواختی و تغییرناپذیری آن گرفته است. هرکس تعصب نداشته باشد و بر نادرست اصرار نورزد می‌داند که به هیچوجه معلوم نیست که همیشه وضع آسمان همین گونه بوده که هست.»[۳]

چهارمین پرسش ابوریحان نیز به این شکل است که «چرا ارسطو قول قائلین به جزء لایتجزا را شنیع خوانده است و حال آنکه شناعتی که بر قول طرفداران انقسام جسم به اجزاء الی غیر النهایه وارد می‌شود از آن بیشتر است. زیرا لازمهٔ سخن این گروه (طرفداران تقسیم‌پذیری نامحدود اجسام) این است که اگر متحرکی، متحرك دیگر را دنبال کند هرگز به آن نرسد، هرچند که دومی سریعتر از اولی حرکت کند. برای آنکه اگر بخواهد برسد باید فاصله را به صفر برساند و برای آنکه فاصله را به صفر برساند، باید جزءها را یکی پس از دیگری طی کند؛ و چون اجزاء بی‌نهایتند هرچه جزء طی کند به صفر نمی‌رسد. به همین دلیل هیچگاه با این فرض، سریعی (متحرك پرشتابی) به بطیئی (متحرك کندی) نمی‌رسد؛ و حال آنکه مشاهده، خلاف این مدعا را ثابت میکند. البته برقول طرفداران جزء لایتجزا نیز ایرادات سختی وارد

۲. مقالات فلسفی، اثر مرتضی مطهری، انتشارات حکمت، صفحه ۱۴۶
۳. مقالات فلسفی، صفحه‌های ۱۲۵ و ۱۲۶

شده است که آشنایان به علوم هندسه به آن آگاهند. اما آنچه بر مخالفینشان وارد است شنیعتر است.»[۴]

از نظر سهروردی (۵۸۷ـ۵۴۹ هـ. ق) «عناصر آغازین هستی سه تا هستند آب، خاک و باد.»[۵] که آتش همان باد فروزان است.

«سهروردی آتش را که عنصر چهارم از عناصر است، عنصری زمینی نمی‌داند بلکه آن را صورتی از نور و خلیفهٔ نور اعلی در محیط زمین می‌شناسد.»[۶] باتوجه به فلسفهٔ سهروردی می‌توان گفت که هر سه این عناصر نیز از نور بوجود آمده اند ولی نورهایی با شدتها و مقدارهای مختلف.

مولوی (۶۷۲ـ۶۰۴ هـ. ق، برابر با ۱۲۷۳ـ۱۲۰۷ میلادی) به چهار عنصر آب، خاک، آتش و هوا، و همچنین به اتم یا ذره معتقد است.

چار عنصر چار استون قویست — که برایشان سقف دنیا مستویست
ذره ذره کاندرین ارض و سماست — جنس خودراهمچو کاه وکهرباست

به نظر عده ای، صدای انفجار ذرات اتمی به گوش مولانا رسیده است. زیرا که در دفتر ششم مثنوی او می گوید:

مارمیت اذرمیت فتنه‌ای — صد هزاران خرمن اندر حفنه‌ای
آفتابی در یکی ذره نهان — ناگهان آن ذره بگشاید دهان
ذره ذره گردد افلاک و زمین — پیش آن خورشیدچون جست ازکمین

اما بدیهی است که مولوی بسیار گرامی ما، احتیاجی به چنین توجیهات غیرقابل اثباتی ندارد. و نمی‌بایستی تشبیهات شاعرانه و تعصبات ملی و مذهبی را با تحقیقات علمی مخلوط کرد. در نهایت باید گفت که مولوی در بارهٔ اتم و اجزایش هرنظری که داشته بیش از این مطالب محدود، چیزی دیگر ننوشته است. چنانچه استاد **محمدتقی جعفری** نیز درکتاب مولوی و جهانبینیها می نویسد:

«البته من نمی‌خواهم بگویم مسائل مربوط به هسته‌های اتمی و خواص و انرژی آنها

۴. مقالات فلسفی، صفحه‌های ۱۴۲ و ۱۴۳

۵. مبانی فلسفه، صفحه ۲۵۶

۶. سه حکیم مسلمان، اثر سیدحسین نصر، ترجمه احمد آرام، انتشارات جیبی، صفحه ۸۸

چنانکه در دوران ما مطرح است، به مغز مولانا راه یافته است، بلکه می توانیم بگوییم، با نظر به محتویات سه بیت مزبور، قطعاً گرایش علمی مولانا در شناخت جهان از دوران خود تجاوز می کند و معلومات کلاسیك عصرش نمی توانند تفکرات او را به زنجیر بکشند.»[۷]

سرانجام از نظر «جابربن حیان شیمیدان و کیمیاگر دربار هارون الرشید (۸۰۹ـ۷۶۵ میلادی) فلزات، ترکیبات گوناگونی از جیوه و گوگردند و اجسام پس از احتراق، گوگرد خود را از دست می دهند، زیرا گوگرد مادهٔ قابل اشتعال و یکی از مواد سوختنی است.»[۸] جابر را، گاهی پدر علم شیمی و گاهی پدر کیمیاگری لقب داده اند.

۷. مولوی و جهان بینی ها، اثر محمدتقی جعفری، انتشارات بعثت، صفحه ۱۹۵
۸. سیری در تاریخ اتم، اثر کاظم عضوامینیان، انتشارات جیران، صفحه ۴۸

فصل چهارم

نظر متفکران اروپا از قرون وسطی تا قرن هفدهم میلادی

بعد از ظهور و افول تمدنهای مصر، بابل، چین، هند و یونان، و به دنبال تسلط رومیها بر یونان، مشعل علم در بندر اسکندریهٔ مصر که آخرین نفسهای تمدن یونان بشمار می‌رفت رو به خاموشی نهاد. در طول زمانی که اروپا قرون وسطی یا قرنهای میانهٔ خود را طی می کرد و به علم چندان بهایی نمی‌داد (از قرن پنجم تا قرن پانزدهم میلادی) تمدن اسلامی از هند تا اسپانیا در حال شکوفایی بود. سرانجام، در قرن شانزدهم رستاخیز فرهنگی یا «رنسانس» از ایتالیا آغاز گردید، و سپس به سایر نقاط اروپا سرایت نمود.

قرن هفدهم به نام «عصر خرد» مشهور گشت؛ و کم کم تسلط انسان بر طبیعت با کمك کشف و استخدام قوانین طبیعی رو به رشد نهاد. قرن هجدهم با نیوتن اش از يك طرف فیزيك ارسطویی را به طور کامل بر سر جای خود نشاند؛ و از طرف دیگر با کلیدی چون $F = m.a$ برای اولین بار درهای بستهٔ بسیاری را به روی ذهن کنجکاو بشر گشود. در قرون اخیر نیز پیشرفت شاخه های مختلف علوم، کم کم از حالت پراکندگی و فردی و قومی خارج گشته، و روز بروز بر قلمرو داناییهای بشر در برابر جهل و نادانی مطلقی که او را احاطه کرده است افزونتر می شود.

آنچه را که ما امروز فلسفه می نامیم، در دوران گذشته مفهوم گسترده تری داشت و شامل کلیهٔ علوم تجربی و غیرتجربی می شد. کم کم از قرن پانزدهم به بعد، به علت رشد و تکامل

جهان دانش، ابتدا علوم از فلسفه جدا شد، و سپس خود علوم نیز به شاخه های متعددی منشعب گردید.

در پیگیری شرح ماجراهای پیشرفت بشر به خاطر کشف الفبای جهان، در طی قرون اخیر ما با انفجاری همه جانبه روبرو هستیم، که برای درك روند مطالب به ناچار می بایستی از نظر زمانی بسیار جابجا بشویم؛ و این درست مثل ترسیم مسیر حرکت رودخانه ای است که پس از طی جریان یکنواخت خود کم کم به شاخه های مختلفی منشعب گردیده و در سر راهش نیز رودخانه های دیگری به آن می پیوندند.

حال نظری می افکنیم به بعضی حلقه های پراکنده تمدن اروپایی از زمان ارسطو تا حدود قرن هفدهم.

بدیهی است علت پراکندگی این نظریات و تکرار چند بارهٔ فلسفه های پیشین، همان عدم وجود روال معین علمی ـ تجربی در میان پژوهندگان این دوران می باشد.

زنون رواقی[1] (۲۶۴ـ۳۲۶ ق. م) نیز به پیروی از هراکلیتوس اصل وجود را آتش می‌داند؛ و این درحالی است که اپیکوراس (ابیقور) (۲۷۰ـ۳۴۱ ق. م) فیلسوف یونانی درپی تأیید نظریهٔ اتمی دموکریتوس معتقد است که اتمها دارای سه ویژگی شکل، اندازه و وزن هستند. فضا، لایتناهی است و اتمها در آن در حرکتند. اپیکور بر خلاف دموکریتوس معتقد بود که انواع اتمها محدود بوده و مهمترین اختلاف اتمها نیز در وزنشان می باشد.

«اپیکور می گوید که خلاء امری نادیدنی است ولی وجود دارد. زیرا اگر خلاء نباشد هیچ حرکتی نیز در طبیعت نمی تواند اتفاق بیفتد و برای اتمها، جایی برای از جای خود جنبیدن باقی نمی ماند.»[2]

چنانچه مشاهده می شود، اصل حرکت همان اصلی است که هم مخالفان نظریهٔ اتمی به آن استناد کرده اند (مانند دلایل زنون ایلیایی) و هم موافقان نظریهٔ اتمی (مانند اپیکور) تا آنجا که در زمان **زنون ایلیایی**[3] (۴۹۰ـ۴۳۰ ق. م) شاگرد **پارمنیدس** (برمانیدس) (۵۱۰ـ۴۴۰ ق. م) چون شرط حرکت وجود خلاء بوده است (حرکت اتمها در خلاء)، زنون از یك طرف وجود خلاء

1. Zenon The Stoic (زینون اصغر)

۲. فلسفه اپیکور، اثر ژان برن، ترجمه سیدابوالقاسم پورحسینی، انتشارات جیبی، صفحه ۵۴

3. Zenon the Ellea (زینون اکبر)

را رد می کند و از طرف دیگر مجبور می شود که حتی وجود حرکت را نیز در جهان انکار کند. (چون دیگر خلائی نیست که اتمها در آن حرکت کنند.)

هرچند مخالفان او می خواستند با چند قدم راه رفتن وجود حرکت را ثابت کنند، ولی این دلیل آنها فقط یك دلیل عینی و عملی بود. حال آنکه از دیدگاه نظری برای رد شبهه های زنون[۴] هیچ دلیل قابل قبولی نتوانستند عرضه کنند.

مشهور ترین شبهه یا پارادکس زنون همان موضوع آخیلئوس یا آشیل قهرمان دو و میدانی است، که هرگز نمی تواند به لاك پشت ساکنی برسد. زیرا اگر فاصلهٔ آخیلئوس با لاك پشت X باشد او می بایستی ابتدا $\frac{X}{۲}$ مسیر را بپیماید. ولی پیش از رسیدن به نقطهٔ $\frac{X}{۲}$ او می بایستی $\frac{X}{۴}$ مسیر را بدود. و به همین ترتیب فواصل و نقاط $\frac{X}{۸}$ و $\frac{X}{۱۶}$ و $\frac{X}{۳۲}$ و...... ولی چون آخیلئوس نمی تواند بی نهایت نقطه را طی کند، پس هیچ گاه او به ان لاك پشت منتظر نخواهد رسید.

از میان متفکران رومی می توان از لوکرتیوس[۵] (۵۵ـ۹۹ ق. م) نام برد. او یکی از موافقان فلسفهٔ اپیکـــور بـــود، که افکـــار استـــاد را در طـــی شعری به نام (در بـــارهٔ طبیعت اشیا) بیان کرده است.

و اما سرچشمهٔ کیمیاگری هنوز بدرستی معلوم نیست. «هرچند که کیمیاگران شروع دوران خود را منتسب به دوران افسانه ای آتلانتید می دانند. گویا آنها در معابد اسرارآمیز این قاره که اکنون ناپدید شده است، اولین پژوهشهای خود را آغاز کرده اند. هدف اصلی آنان تبدیل فلزات به نقره یا طلا بوده است.»[۶] قدرت و قدمت این نظریه تا بدانجاست که حتی واژهٔ شیمی[۷] از کلماتی چون کیمیا و کیمیاگری مشتق شده است.

«گفته می شود هنگامی که ایرانیان بر مصر غلبه می یابند، از کاهنان مصری، طلا درخواست می کنند. آنها نیز مقداری از طلاها را با قلع و سرب مخلوط نموده و تحویل می دهند. اما اشخاصی که از این حیله آگاه نبودند گمان می برند که کاهنان براستی می توانند سرب را تبدیل به طلا کنند و در نتیجه درصدد کشف این راز برمی آیند. به طوری که در تمام مدت قرون

4. Paradox 5. Titus Lucretius Carus

۶. سیری در تاریخ اتم، اثر کاظم عضوامینیان، انتشارات جیران، صفحه ۴۹

7. Chemistry

وسطی افراد بسیاری به شدت سرگرم کیمیاگری شده بودند.»[۸]

از کیمیاگران معروف این دوران می‌توان بولوس ذیمقراطیس یونانی[۹]، زوسیموس رومی[۱۰]، کالینیکوس[۱۱] از اهالی قسطنطنیه (روم شرقی)، خالدبن یزید (۷۰۴ـ۶۶۰ میلادی) نخستین کیمیاگر عرب، جابربن حیان، نوسترادامیوس[۱۲] فرانسوی، آلبرتوس ماگنوس یا آلبرت کبیر[۱۳] (۱۲۸۰ـ۱۲۰۶) فیلسوف ارسطوگرای آلمانی، پاراسلسوس[۱۴] (۱۵۴۱ـ۱۴۹۳) و راجربیکن[۱۵] (۱۲۹۲ـ۱۲۱۴) از اهالی انگلستان را نام برد. پاراسلسوس پزشك و کیمیاگر سوئدی معتقد بود که بدن انسان ترکیبی است از نمك (حلالیت)، گوگرد (احتراق) و جیوه (درخشش).

جیوردانو برونوی ایتالیایی[۱۶] (۱۶۰۰ـ۱۵۴۸ میلادی) به اتمهای زنده یا مونادها[۱۷] معتقد بود. لایب نیتز آلمانی[۱۸] (۱۷۱۶ـ۱۶۴۶) نیز بعدها در فلسفهٔ خود از مفهوم مونادها استفاده می‌کند ولی این دونفر در مورد مونادها توضیح فیزیکی چندانی نمی‌دهند. این برونو همان کسی است که در سال ۱۶۰۰ به دلیل اینکه گفته بود زمین به دور خورشید می‌چرخد، و نه خورشید به دور زمین، به دستور دادگاه تفتیش عقاید زنده زنده در آتش سوزانیده شد.

در فرانسه، پیرگاساندی[۱۹] (۱۶۵۵ـ۱۵۹۲) به حمایت ازمکتب اتمی اپیکور و لوکرسیوس می‌پردازد، منتهی با الحاد آنان مخالفت می‌نماید. گاساندی نیز چون اپیکور، بر این فرض بود که خصوصیات اصلی اتمها تنها در شکل و ابعاد آنها نیست بلکه به وزنشان نیز بستگی دارد. «گاساندی خدا را محرکی پنداشته که به اتم، قوه و نیروی حرکت عطا فرموده است، در حالی که اپیکور علت حرکت اتمها را تنها وزن (ثقل) آنها می‌انگاشت.»[۲۰]

از نظر رنه دکارت[۲۱] فرانسوی (۱۶۵۰ـ۱۵۹۹) این مشخصترین چهره قرن هفدهم «در طبیعت خلائی وجود ندارد. او مدعی گردید، جهان از مادهٔ لطیفی آکنده شده که این ماده برای آنکه امکان حرکت داشته باشد مجبور است به دور خود بچرخد و حرکتی گردبادی ایجاد

---

۸. تاریخ علوم، اثر پی‌یر روسو، ترجمه حسن صفاری، انتشارات امیرکبیر، صفحه ۱۲۲

9. Bolos Democratis 10. Zosimus 11. Callinicus 12. Nostradamos
13. Albertus Magnus 14. Paracelsus 15. Roger Bacon 16. Giordano Bruno
17. Monad 18. Leibniz 19. Pierre Gassendi

۲۰. فلسفه اپیکور، صفحه ۳۲

21. Rene Descartes

بنماید.»[۲۲] بدیهی است که این نظریه دارای هیچگونه مبنای تجربی نیست. البته این گونه ذهنگراییها تنها مربوط به دکارت نیست. حتی ایزاك نیوتن[۲۳] (۱۷۲۷ـ۱۶۴۲) مظهر علمی قرن هجدهم که همیشه می گفت: «من فرضیه ها را نمی سازم»[۲۴]، فرضیهٔ اتم را پذیرفت. او در بارهٔ اتم می نویسد: «من تصور می کنم که احتمال دارد خداوند در ابتدا ماده را به صورت ذراتی یك پارچه، جسیم، جامد، غیرقابل نفوذ و متحرك با چنان ابعاد و شکلی، و با چنان خواصی و در چنان تناسبی نسبت به فضا آفریده باشد که به بهترین وجهی به هدفی که برای آن، آنها را آفریده است خدمت کنند. و هم اینکه این ساده ترین ذرات، سخت بوده و از هر جسم دیگری که از آنها تشکیل شود فوق العاده باثبات ترند. و حتی آن قدر باثباتند که هرگز فرسوده نخواهند شد، و به قطعات تقسیم نخواهند گشت و سرانجام اینکه هیچ نیرویی قادر نیست آنچه را که خداوند، خود، در نخستین روز آفرینش بوجود آورده است تقسیم کند.»[۲۵]

اتمی ها از یك طرف مشاهده می کردند که در طبیعت همه چیز تغییرپذیر است و از طرف دیگر قطعیت مطلقی داشتند که باید در ذات اشیا چیز ثابت و پابرجایی وجود داشته باشد، که عامل این تغییرات باشد. پس نتیجه گرفتند که اگر تصور کنند اتم غیر قابل تقسیم، تشکیل دهندهٔ غیرقابل تغییر دنیاست، این بن بست فیلسوفانه برطرف خواهد شد. به هرحال تاریخ فلسفه نمایانگر تلاشهای فکری عظیمی جهت حل مقولاتی چون کثرت و وحدت، حرکت و سکون، جوهر و عرض و........ می باشد. ولی مشکل اصلی این است که در برابر هر پاسخی تازه، پرسشهای تازه تری مطرح می شود.

۲۲. تاریخ علوم، صفحه ۲۳۴

23. Isac Newton

۲۴. فیزیك و واقعیت، اثر آلبرت آینشتاین، ترجمه محمدرضا خواجه پور، انتشارات خوارزمی، صفحه ۲۶

۲۵. در آنسوی کوانت، اثر ل. پانوماریف، ترجمه هوشنگ طغرایی، انتشارات میر، صفحه ۳۳

فصل پنجم

ردپاهای عینی اتم

در مباحث گذشته دیدیم که طالس به عنصر آب، امپدوکلس و ارسطو به چهار عنصر آب، خاك، آتش و هوا، و آناکسیماندروس به آپایرون معتقد بودند. تا اینکه **رابرت بویل**[1] (۱۶۹۱_۱۶۲۷) انگلیسی درسال ۱۶۶۱ در کتاب «شیمیدان شکاك»، چهار عنصر ارسطو و سه اصل پاراسلسوس را رد کرده و اعلام نمود که نمی‌توان عنصر را با روشهای معمولی به اجزاء کوچکتری بجز نمونه‌های همان عنصر تبدیل کرد.

«او برخلاف دموکریتوس عناصر اصلی تولید شده از تجزیه را ذره نامید نه اتم»[2] که با چنگالهایی به یکدیگر متصل می‌شوند. «بنابراین براساس تعریف بویل، نه آتش عنصر بود نه خاك. مسئلهٔ هوا و آب دشوارتر بود. در زمانی که بویل کتابهایش را می‌نوشت، این دو ماده به مواد ساده‌تر از خود تجزیه نمی‌شدند، پس عنصر به حساب می‌آمدند.»[3]

گئورگ ارنست اشتاهل[4] آلمانی (۱۷۳۴_۱۶۶۰) اعلام کرد که «سیالی بی‌رنگ و بو به

1. Robert Boyle

۲. سیری در تاریخ اتم، اثر کاظم عضوامینیان، انتشارات جیران، صفحه ۹۳

۳. جهان از چه ساخته شده است، اثر آیزاك آسیمون، ترجمه محمود بهزاد، انتشارات علمی و فرهنگی، صفحه ۴۰

4. Stahl

نام فلوژیستیك[5] وجود دارد که ذرات بویل را به هم پیوند می‌دهد و عامل پیدایش واکنشهای شیمیایی است.»[6] از نظر اشتاهل، فلوژیستیك به صورت شعله در هنگام احتراق از اجسام جدا می گردد. در راستای کشف مسئلهٔ احتراق، **توبرن برگمان**[7] نیز حدس زد که هوا یك عنصر نبوده بلکه مخلوطی است از سه گاز هوای معیوب (ازت)، هوای خالص (اکسیژن) و اسید هوایی (گاز کربنیك).

ژوزف بلاك[8] (۱۷۹۹ـ۱۷۲۸) از اهالی اسکاتلند گاز کربنیك را درسال ۱۷۰۷ از تکلیس آهك بدست آورد و آن را هوای ثابت نامید.

ژوزف پریستلی انگلیسی[9] (۱۸۰۴ـ۱۷۳۳) نیز پس از گذراندن گاز کربنیك (حاصل از سوختن زغال) از روی آب آهك، گاز ازت را کشف کرد که نام آن را هوای فلوژیستیك‌دار گذاشت. او همچنین اکسید جیوه را حرارت داده و هوای فاقد فلوژیستیك (همان اکسیژن) را کشف کرد.

و سرانجام می‌رسیم به یکی از بنیانگذاران علم شیمی؛ یعنی **آنتوان لوران دولاوازیه**[10] فرانسوی (۱۷۹۴ـ۱۷۴۳). او دریافت که هوای فاقد فلوژیستیك (کشف پریستلی) عاملی است که فلزات آن را جذب می کنند و سپس اکسیده می شوند. و او آن را اکسیژن (اسیدساز) نام نهاد. «و چون درسال ۱۷۷۲ قطعه سربی را در معرض حرارت خورشید (که به وسیله یك عدسی متقارب شده بود) قرار داد و آن را سوزاند، ملاحظه کرد که وزنش زیاد شده است و حال آنکه می بایست فلوژیستیك مورد نظر اشتاهل از آن کم شده باشد. پس نتیجه گرفت که چیزی به نام فلوژیستیك وجود ندارد. به همین دلیل برای اثبات نظرش دوباره مقداری اکسید سرب (مردارسنگ) را حرارت داد و ملاحظه کرد که این جسم مقداری اکسیژن آزاد نمود و تبدیل به سرب شد.»[11]

لاوازیه درسال ۱۷۸۳، هنگام سوزاندن گاز آتشگیر در داخل اکسیژن مشاهده کرد که آب بوجود می‌آید. از اینرو گاز آتشگیر را هیدروژن (یعنی تولید کننده آب) نامید و این چیزی بود که

---

5. Phlogistic (فلوژیستیك در لغت یونانی یعنی قابل اشتعال است)

۶. سیری در تاریخ اتم، صفحه ۹۷

7. Tobern Bergmann 8. Black 9. Priestly 10. Antonie Lourent de Lavoisier

۱۱. تاریخ علوم، اثر پی‌یر روسو، ترجمه حسن صفاری، انتشارات امیرکبیر، صفحه ۴۳۰

با فهم عمومی آن روز قابل پذیرش نبود. زیرا از یك طرف لاوازیه ثابت کرد که آب برخلاف نظر بزرگان یونان باستان یك عنصر نبوده بلکه از ترکیب دوعنصر اکسیژن و هیدروژن تشکیل شده است، و از طرف دیگر چگونه ممکن بود که آب یعنی این نیرومندترین مادهٔ ضدآتش، خود از اکسیژن که بی‌آن هیچ چیز نمی‌سوزد، تشکیل شده باشد. به هرحال اسرار تازه کشف شده همیشه با عادات فکری و دانسته‌های پیشین براحتی کنار نمی‌آیند.

«اولین طبقه‌بندی علمی برای عناصر نیز به وسیله لاوازیه انجام گرفت. او درسال ۱۷۸۹ اغلب عناصر شناخته شدهٔ زمان خودرا (که حدود ۳۳ عنصر بود) بر مبنای خواص فلزی و غیرفلزی (نظیر وزن حجمی ـ شکنندگی ـ هدایت گرمایی ـ جلاپذیری ـ...) طبقه‌بندی کرد.»[۱۲] شاید لاوازیه نخستین کسی باشد که از ترازو، برای مقاصد تحقیقاتی استفاده کرده است. و بدین وسیله عامل اساسی «کمیت» راوارد علم شیمی یا «علم کیفیات عناصر» نمود. البته در جدول ۳۳ عنصری لاوازیه، نور و گرما نیز درزمرهٔ عنصرها بحساب آمده بودند، که در کل فقط ۲۳ عنصر از ۳۳ عنصر این جدول از عنصرهای واقعی بودند.

هنگامی که بنا به دلایل سیاسی درسال ۱۷۹۴ سر لاوازیه به وسیله گیوتین از تنش جدا شد لاگرانژ نوشت: «برای قطع این سر لحظه‌ای بیش لازم نبود، ولی برای آنکه نظیر آن بوجود آید شاید صدسال وقت لازم باشد.»

یکی از نخستین تلاشهای علمی برای ارزیابی اندازهٔ اتمها متعلق به **میخاییل واسیلیویچ لومونوسف**[۱۳] روسی (۱۷۶۵ـ۱۷۱۱) می‌باشد. او درسال ۱۷۴۲ متوجه شد که جواهرسازان زبردست قادرند ورقه‌هایی از طلا را به ضخامت یك ده هزارم سانتی متر (10^{-4} سانتی متر) بسازند، پس بنابر اظهار نظر او ابعاد اتم طلا نمی‌تواند از این اندازه بزرگتر باشد.

از نظر لومونوسف ذرات دارای شکل و بعدند، ولی غیر قابل نفوذ به داخل ذرات دیگر، و غیر قابل تجزیه به ذرات ریزترند. لومونوسف خواص جنبشی حرارت را بررسی کرد و استدلال کرد که گرمای جسم ناشی از افزایش حرکت لغزشی و دورانی ذرات جسم است. و بدین گونه وجود ماده سیال فلوژیستیك را نفی کرد.

درسال ۱۷۷۳ **بنجامین فرانکلین**[۱۴] آمریکایی (۱۷۹۰ـ۱۷۰۶) متوجه شد که اگریك

---

۱۲. شیمی (سال دوم متوسطه عمومی)، اثر منصور عابدینی و...، انتشارات وزارت آموزش و پرورش، صفحه ۲

13. Mikhail Vassilievitch Lomonossov 14. Benjamin Franklin

قاشق چایخوری روغن (تقریباً به حجم ۴ سانتی متر مکعب) را روی سطح آرام آب بریزیم، سطحی معادل ۲ هزار متر مربع یا ۲×۱۰^۷ سانتی متر مربع را خواهد پوشاند. واضح است که در این صورت قطر مولکول روغن نمی تواند از ۲×۱۰^{-۷} سانتی متر زیادتر باشد.

آنتونی کارلایل[۱۵] (کارلیل) (۱۸۴۰ـ۱۷۶۸) و **ویلیام نیکولسون** (۱۸۱۵ـ۱۷۵۳) از اهالی انگلستان در هنگام آزمایش با پیل ولتا، دوسر سیم پیل را در آب فرو بردند و مشاهده کردند که در قطب منفی هیدروژن و در قطب مثبت اکسیژن متصاعد می شود.

ژان گییوم ریتر[۱۶] آلمانی (۱۸۱۰ـ۱۷۷۶) نیز همین آزمایش را انجام داده بود. همهٔ آنان از خود می پرسیدند که علت این تجزیه چیست؟ تا اینکه **همفری دیوی**[۱۷] (۱۸۲۹ـ۱۷۷۸) از انگلستان پاسخ داد: خیلی ساده است، آب دارد به عناصر تشکیل دهندهٔ خود تبدیل می گردد. آنگاه دیوی با انجام چند آزمایش دیگر (از جمله تجزیه محلولهای سود و پتاس) توانست از یك طرف پدیدهٔ الکترولیز یا تجزیه الکتریکی مواد را توجیه کند، و از طرف دیگر عناصری همچون پتاسیم، سدیم، باریوم، استرونتیوم، کلسیم و منگنز را نیز با استفاده از الکترولیز بدست آورد.

ژرمی بنیامین ریشتر[۱۸] (۱۸۰۷ـ۱۷۶۲) شیمیدان کارخانه های چینی سازان برلن، جدولی تشکیل داد و طی آن معلوم کرد که برای خنثی کردن اثر اسید معینی چه مقدار باز لازم است. اما **کلود لویی برتوله**[۱۹] شیمیدان فرانسوی با این جدول مخالفت کرده و اظهار می داشت که درصد شیر و قهوه هرچقدر باشد در هرحال شیر قهوه است نه چیز دیگر.

اما **لویی ژوزف پروست**[۲۰] (۱۸۲۶ـ۱۷۵۴) دیگر شیمیدان فرانسوی سرانجام توانست پس از طی مباحث چندین ساله، درسال ۱۸۰۷ نظر برتوله را عوض کند. بنابر قانون پروست یا قانون نسبتهای مشخص وزنی، دوجسم برای آنکه ترکیب معینی را بوجود آورند، همواره به نسبتهای ثابت و تغییرناپذیری با هم ترکیب می شوند. برای مثال همیشه نسبت وزنی گوگرد و آهن جهت تهیهٔ سولفور آهن ۳۲ به ۵۶ است. پروست همچنین ثابت کرد که ترکیب آب همواره ثابت است، خواه از آسمان باریده شود و خواه از رودخانه برداشته شده باشد و یا از سوزاندن هیدروژن و اکسیژن بدست آمده باشد.

اما تکلیف اجسامی که از ترکیباتشان چندین جسم مرکب ایجاد می شود چیست؟ برای

15. Anthony Carlisle 16. Ritter 17. Humphry Davy 18. Richter
19. Berthollet 20. Proust

مثال کربن و اکسیژن نه فقط گاز کربنیك ایجاد می‌کنند بلکه اکسید دوکربن نیز بوجود می‌آورند. بنابراین میان این حقایق و قانون نسبتهای مشخص چگونه آشتی دهیم؟

جان دالتون[21] (۱۸۴۴ـ۱۷۶۶) استاد ریاضیات و علوم طبیعی در کالج منچستر، یکی دیگر از قوانین اساسی علم شیمی را به نام قانون دالتون یا قانون نسبتهای چندتایی را بوجود آورد. او با توجه به اوزان ترکیباتی نظیر:

۱۴ گرم ازت + ۸ گرم اکسیژن = پروتوکسید ازت

۱۴ گرم ازت + ۱۶ گرم اکسیژن = بی اکسید ازت

۱۴ گرم ازت + ۲۴ گرم اکسیژن = انیدرید ازتو

۱۴ گرم ازت + ۳۲ گرم اکسیژن = پراکسید ازت

۱۴ گرم ازت + ۴۰ گرم اکسیژن = انیدرید ازتیك

۱۴ گرم ازت + ۴۸ گرم اکسیژن = انیدرید پرازتیك

قانون نسبتهای چندتایی را بوجود می‌آورد «که به موجب آن اگر مقادیر مختلفی از یك عنصر که بامقدار معینی از عنصر دیگر ترکیب می شوند، بیش از یك ترکیب تشکیل دهند، نسبت وزنی مقادیرمختلف عنصرعددی کامل است.»[22]

دالتون با خود اندیشید که چرا همیشه این اعداد صحیح‌اند و کسری و اعشاری نیستند. آنگاه نتیجه گرفت که جریان امور به نحوی است که گویی این اجزاء از دانه‌های مشخص و معینی تشکیل شده اند که این اجزاء همان اتم دموکریتوس است. درست شبیه به تعداد نفرات ساکن یك شهر یا یك خانه که همیشه یك عدد صحیح است.

بدین گونه بود که برای نخستین بار اعداد و ارقام در تئوری اتم شرکت کردند و این حادثه مهمی بود که تئوری اتم را از فلسفه و متافیزیك دور، و به منطق و ریاضی نزدیك می کرد. «در مجموع خلاصه تئوری اتمی دالتون به قرار زیر است:

۱ـ عناصر از ذرات بی‌نهایت ریزی تشکیل یافته‌اند که اتم نام دارد.

۲ـ اتمها غیر قابل تجزیه هستند و از بین نمی‌روند.

۳ـ اتمهای یك عنصر یکسان بوده و وزن واحدی دارند.

---

21. John Dalton

۲۲. اصول شیمی نوین، علی افضل صمدی، انتشارات دانشگاه مشهد، صفحه ۱۲

۴ـ اتمهای عناصر گوناگون (در آن زمان ۴۰ نوع عنصر شناخته شده بود) وزنهای متفاوت دارند.

۵ـ در تشکیل مواد مرکب از عناصر، اتمهای آنها با یکدیگر ترکیب می شوند.»[۲۳]

در همان سال که دالتون فرضیه‌های جدید خودرا انتشار داد (۱۸۰۸) **ژوزف لویی گیلوساک**[۲۴] فرانسوی (۱۸۵۰ـ۱۷۷۸) نیز قانون مشهور خود را به این شکل بیان کرد: مابین حجم دوگاز که با یکدیگر ترکیب می شوند نسبت ساده ای وجود دارد. مثلاً همواره برای ترکیب آب دوحجم هیدروژن و یك حجم اکسیژن لازم است. (گویی گازها نقش خود را اتم به اتم انجام می دهند.)

نتیجه ای که از اکتشافات فوق انتظار می رفت بدست آمد، اما نه به وسیلهٔ گیلوساك بلکه کاشف آن دانشمندی ایتالیایی به نام **آمه ده آووگادرو**[۲۵] (۱۸۵۶ـ۱۷۷۶) بود. او درسال ۱۸۱۱ اظهار کرد که تعداد ذرات موجود در حجم معینی از تمام گازها مقدار ثابتی است. سپس با محاسبه ثابت نمود که یك مولکول گرم از کلیه گازها در شرایط متعارفی یعنی در دمای صفر درجه سلسیوس و فشار یك اتمسفر، ۲۲/۴ لیتر حجم دارد. و تعداد مولکولهای موجود در این ۲۲/۴ لیتر برابر با $۶/۰۲۳ \times ۱۰^{۲۳}$ است (عدد آووگادرو). بنابراین یك سانتی متر مکعب اکسیژن شامل همان تعداد اتم است که برای مثال در یك سانتی متر مکعب از هیدروژن موجود است. و چون نسبتهای وزنی یك سانتی متر مکعب از اکسیژن و ازت و هیدروژن به ترتیب برابر با ۱۶ و ۱۴ و ۱ است پس هر اتم اکسیژن ۱۶ مرتبه و هر اتم ازت ۱۴ مرتبه سنگینتر از یك اتم هیدروژن است.

ژاکوب برزلیوس[۲۶] سوئدی (۱۸۴۸ـ۱۷۷۹) تصمیم گرفت، تودهٔ درهم و مبهم اکتشافات و فرضیات آووگادرو، آمپر، گیلوساك، دالتون و غیره را با هم توافق دهد و مجموعه ای متصل و مرتبط بوجود آورد.

«برزلیوس با خود گفت: چون اجسام در نتیجهٔ الکترولیز تجزیه می شوند پس ممکن است که خود الکتریسیته عامل اتصال آنها به یکدیگر نیز باشد. بنابراین اتم بعضی از اجسام،

---

۲۳. شیمی (سال دوم متوسطه عمومی)، اثر منصور عابدینی و...، انتشارات وزارت آموزش و پرورش، صفحه ۷۰

24. Joseph - Lui - Gaylussac 25. Amedee Avogadro 26. Berzelius

الکتریسیتهٔ مثبت قبول می کند و اتم بعضی دیگر، الکتریسیتهٔ منفی.»[۲۷]

برزلیوس جدولی از اوزان اتمی منتشر کرد و علامتهای شیمیایی دالتون را نیز اصلاح و کامل نمود. او درسال ۱۸۱۴، همین علایم کنونی عناصر شیمیایی را برحسب حروف اول اسامی لاتینی و یونانی آنها بکار برد. برزلیوس همچنین عناصر را به فلزات و شبه فلزات تقسیم نمود. (دالتون از دایره برای مشخص کردن اتمها استفاده کرده بود. برای مثال: اکسیژن = ○، کربن = ●، هیدروژن = ⊙ و گوگرد = Ⓢ....)

در این اوضاع و احوال بود که ویلیام پروت[۲۸] (۱۸۵۶ـ۱۷۸۶) طبیب انگلیسی درسال ۱۸۱۵ مدعی شد که چون وزن اتمی عناصر نسبت صحیحی از وزن اتمی هیدروژن می باشند، پس همهٔ عناصر از هیدروژن ساخته شده اند.

با همهٔ این حرفها نخستین دلیل و مدرك عینی در مورد اتم را گیاه شناسی اسکاتلندی به نام رابرت براون[۲۹] (۱۸۵۸ـ۱۷۷۳) پیدا کرد. او درسال ۱۸۲۷ هنگام استفاده از میکروسکوپ متوجه شد که ریزترین ذرات گردهٔ گل در اثر یك نیروی نامعلومی آزادانه در آب حرکت می کنند. او خود، علت این امر را نیروی زنده ای[۳۰] می‌دانست که گویا خاص مولکولهای آلی است (مولکولهای فعال و زندهٔ تخم گیاه).

کاربونل بلژیکی و گویی فرانسوی با آزمایشهای خود همچنین روشن ساختند که حرکت براونی از یك طرف به عواملی نظیر مکان، زمان، و نوع گرده گل بستگی نداشته، و از طرف دیگر این حرکت هرگز متوقف نمی شود.

سرانجام درسال ۱۸۸۱ ویلیام رامزی[۳۱] (رامسی) (۱۹۱۶ـ۱۸۵۲) دانشمند انگلیسی حرکات براونی را که علت آن تصادم مولکولهای مایع ضمن حرکت بوده توجیه کرد. «وجود این حرکت تمام نشدنی از یك نظر با همهٔ تجربه های قبلی متناقض و متضاد بنظر می رسید.»[۳۲] زیرا که تا آن زمان چنین دیده شده بود که همهٔ حرکات اجسام در نهایت به سکون و توقف منتهی می شوند.

و اما برای رد گم نکردن مباحث آینده این کتاب، باید به مسیرهای شکل گیری همزمان و

۲۷. تاریخ علوم، پی یر روسو، صفحه ۴۹۶

28. Prout　29. Robert Brown　30. Vital　31. Ramsay

۳۲. تکامل علم فیزیك، اثر آلبرت آینشتاین و...، ترجمه احمد آرام، انتشارات پرتو، صفحه ۶۷

جدا از هم سه شاخهٔ نظری ـ تجربی زیر توجه داشت.

شاخهٔ اول: مبحث کشف عناصر (با کمك روشهای الکترولیز و طیف شناسی و غیره) که به جدول تناوبی عناصر (جدول مندلیف) منتهی می شود.

شاخهٔ دوم: مبحث تابش حرارتی و نورشناسی، که به تئوری کوانتایی پلانك و سپس به تئوری اتمی بور می انجامد.

شاخهٔ سوم: مبحث بررسی گرانش و سرعت اجسام که در ابتدا به تئوری نسبیت آینشتاین و سپس در ترکیب با تئوری کوانتایی پلانك، به تئوری اتمی دیراك می انجامد. در نهایت نیز هرسه شاخهٔ فوق، مبحث شناخت ذرات بنیادی را می گشایند.

فصل ششم

از اتم دالتون تا جدول تناوبی عناصر (جدول مندلیف)

نیوتن درسال ۱۶۶۶ به وسیله منشور، نور خورشید را به هفت رنگ رنگین کمانی تجزیه نمود. بعدها ژوزف فراونهوفر[۱] آلمانی (۱۸۲۶ـ۱۷۸۷) به کمك یك عدسی، اشعهٔ خورشید را متمرکز کرد و از شکاف باریکی گذراند و بر منشوری تاباند. او به وسیله یك ذره بین، طیف پیوسته خورشید را که در آن خطوط تاریك زیادی دیده می شد، مورد مطالعه قرار داد. این خطوط که در زمینهٔ طیف هفت رنگ خورشید نسبت به یکدیگر وضع ثابتی داشتند، خطوط فراونهوفر نامیده شده اند.

گوستاو روبرت کیرشهوف[۲] (۱۸۷۵ـ۱۸۲۴) سازندهٔ طیف نما (اسپکتروسکوپ) و روبرت ویلهلم بونزن[۳] (۱۸۹۹ـ۱۸۱۱) دو شیمیدان آلمانی قرار گذاشتند که برای مطالعهٔ خطوط طیفی با هم تشریك مساعی کنند. آنان ضمن سوزاندن مواد مختلف جلوی شکاف اسپکتروسکوپ، خطوط طیفی را که به این وسیله ایجاد می شد یادداشت می کردند. تا اینکه توانستند فهرستی از طیف اجسام مختلف را تهیه کنند. برای مثال رنگ زرد در طیف، علامت وجود عنصر سدیم، و رنگ قرمز نشانهٔ وجود لیتیوم بود.

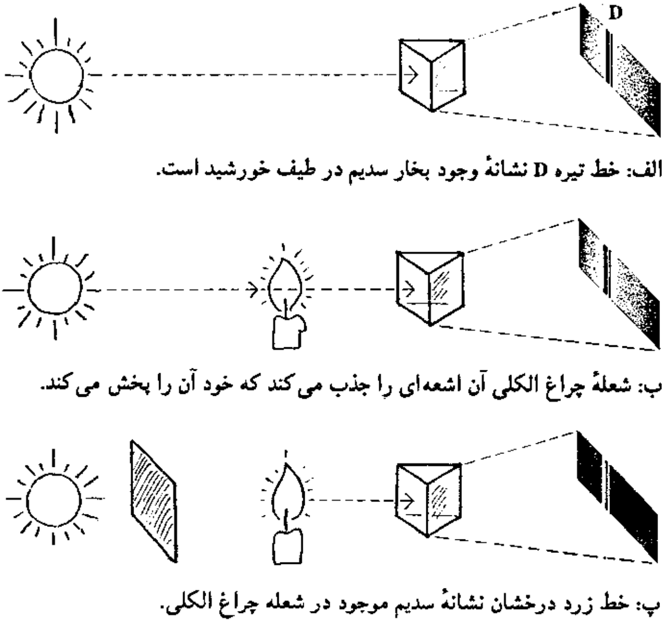
آنان نتیجه ای را که آنگستروم[۴] سوئدی بدست آورده بود، تأیید کردند، و اظهار داشتند

1. Fraunhofer　2. Kirchhoff　3. Bunsen　4. Angstroem

که خطوط طیفی بعضی از فلزات بر خطوط طیفی خورشید منطبق می‌گردد. و از اینجا چنین نتیجه می‌شود که کره خورشید برخلاف نظر ارسطو و سایرین، شامل تمام این فلزات یعنی سدیم، لیتیوم و غیره می‌باشد... اما چرا این خطوط تاریك هستند، در حالیکه می‌بایست درخشان باشند.

«درسال ۱۸۶۰ کیرشهوف از این راز نیز پرده برداشت، و توانست قانون عمومی این مطلب را بیان کند: طبق این قانون وقتی که شعاع نورانی قبل از رسیدن به اسپکتروسکوپ از داخل طبقه‌ای گاز عبور کند، این گاز در طیف شعاع مزبور، تشعشعاتی را که خود آن درحال عادی ایجاد می‌کند جذب می‌نماید.»[۵]

برای مثال بخار سدیم موجود در جو خورشید خط زرد درخشان مربوط به سدیم موجود در خورشید را در طیف خاموش می‌کند و درجای آن فقط خط تاریکی باقی می‌گذارد.



الف: خط تیره D نشانهٔ وجود بخار سدیم در طیف خورشید است.

ب: شعلهٔ چراغ الکلی آن اشعه‌ای را جذب می‌کند که خود آن را پخش می‌کند.

پ: خط زرد درخشان نشانهٔ سدیم موجود در شعله چراغ الکلی.

شکل ۶ـ۱. نمایش اصل کیرشهوف

---

۵. تاریخ علوم، اثر پی‌یر روسو، ترجمهٔ حسن صفاری، انتشارات امیرکبیر، صفحه ۶۴۴

درسال ۱۸۶۰ بونزن هنگامی که یکی از املاح معدنی را مورد مطالعه قرار می‌داد، در طیف آن، خطوط ضعیفی را مشاهده کرد که در کاتالوگ وجود نداشت. بنابراین استدلالی کرد که شباهت با استدلال لووریه[۶] هنگام کشف سیاره نپتون داشت. او اظهار داشت: چون این خطوط در طیف هیچیك از عناصر موجود یافت نمی‌شود، بنابراین به طور حتم، وجود عنصر ناشناسی را اعلام می‌کند. سرانجام آنها توانستند پس از جداسازی عناصر این نمك از یکدیگر، دوفلز جدید به نامهای روبیدیم، و کوریوم را کشف کنند. این بهره برداری موجب شد که عده زیادی از شیمیدانان برای استفاده از این رگهٔ نوید دهنده هجوم آورند. برای مثال درسال ۱۸۶۲ **ویلیام کروکس**، تالیوم را با همین روش کشف کرد. آنگاه دانش اسپکتروسکوپی علم جدیدی شد که به پیشرفت علوم شیمی، فیزیك، زمین شناسی و نجوم کمکهای فراوانی نمود.

معلوم شد که هرعنصری در طیف خود دارای خطوطی معین و مشخص می‌باشد. آنچه بویژه اهمیت دارد این است که این دسته خطوط برای هیچ یك از عناصر تکرار نمی‌شود. علاوه بر این، طیف خطی هر عنصر به نوع ترکیب شیمیایی مجموعه‌اش بستگی ندارد. بنابراین علل طیفی آنها را باید در خواص اتمی آنها جستجو کرد. عده‌ای بر این نظر بودند که چون عوامل درونی اتمها پدید آورندهٔ طیف خطی است، پس می‌بایستی اتم دارای اجزائی باشد.

از اواخر قرن هجدهم که شیمی به صورت یك علم واقعی درآمد فقط شیمی معدنی مورد توجه قرار داشت. زیرا مواد آلی، بسیار اسرارآمیز بنظر می‌رسیدند و عده‌ای در این موضوع تردید داشتند که الکل، کره، قند و ادرار ازقوانین عادی شیمی، از قبیل قوانین نسبتهای معین و نسبتهای مضاعف پیروی کنند.

حتی شیمیدانهایی چون برزلیوس و اشتاهل ایجاد مواد شیمی آلی را به طور مصنوعی غیرممکن می‌دانستند، و می‌گفتند که در تشکیل آنها یك نوع نیروی حیاتی دخالت دارد.

در سال ۱۸۳۴ **ژان باتیست دومای**[۷] فرانسوی (۱۸۸۴ـ۱۸۰۰) نشان داد که در شیمی آلی نیز مانند شیمی معدنی خانواده‌های واقعی وجود دارد. برزلیوس از اتم گفتگو می‌کرد، و دوما از مولکول، بدون اینکه به کنه مطالب خود پی ببرند. و چون هیچ کدام نمی‌دانستند که بعضی از اجسام ساده فقط به صورت مولکول ظاهر می‌شوند نه اتم، دچار سر درگمی شده

---

6. Le Verrier 7. Dumas

بودند.

درسال ۱۸۵۸ اوگوست ککوله آلمانی[8] (۱۸۹۶ـ۱۸۲۹) یکی از شاگردان دوما هنگام تفکر در مورد وضع اتمها نسبت به یکدیگر در داخل مولکول به او الهام گردید که ترکیب اجسام را نمی بایستی به وسیلهٔ فرمولهایی چون H_2O و H_2SO_4 نمایش داد. بلکه می توان آنها را به وسیلهٔ تصاویر کوچك یا فرمولهای گسترده توضیح داد. تا اینکه لویی پاستور فرانسوی[9] (۱۸۹۵ـ۱۸۲۲) در سال ۱۸۴۸ ملاحظه کرد که بعضی محلولهای اسید تارتریك، نور قطبی شده را به طرف راست و بعضی دیگر به طرف چپ منحرف می سازند. و عده ای نیز اصلاً آن را منحرف نمی کنند. (که توضیح این پدیده به وسیلهٔ آن فرمولهای گسترده نیز ممکن نبود.)

«سرانجام درسال ۱۸۷۴ دونفر دانشمند مستقل از یکدیگر موضوع تقارن مولکولی دومحلول متفاوت اسید تارتریك را توضیح دادند. یکی از اینها ژوزف آشیل لوبل[10] (۱۹۳۰ـ۱۸۴۷) از فرانسه، و دیگری ژاکوب هندریك وانتهوف[11] هلندی بود. آنان اظهار داشتند که مولکولهای متقارن را نمی توان به وسیلهٔ فرمولهای گسترده ککوله توضیح داد و اصولاً فرمولهای مسطح کافی نیستند و می بایستی از فرمولهای فضایی استفاده کرد.»[12] تا اینکه فردریك وهلر[13] (۱۸۸۲ـ۱۸۰۰) توانست با ساختن اسید سیانیك، ترکیب اوره را بدست بیاورد. او اعلام نمود که می توان بدون نیاز به کلیهٔ حیوان یا انسان اوره را تهیه کرد. ولی طرفداران قدرت حیات (ویتالیستها) در این مورد نظر دادند که اوره را می بایستی به عنوان سرحد شیمی آلی و شیمی معدنی بحساب آورد. تا اینکه مارسلن برتلو[14] (۱۹۰۷ـ۱۸۲۷) دانشمند فرانسوی درسال ۱۸۶۳ توانست فقط با تولید جرقهٔ الکتریکی مابین دو الکترود زغالی در داخل محیط هیدروژنی، استیلن را تهیه کند. این بار تولید مصنوعی اجسام آلی دیگر حقیقت غیرقابل انکاری بود. بویژه اینکه برتلو در همین حد نیز متوقف نماند، و از استیلن ساخته شده استفاده کرد. و در ابتدا بنزین و سپس نفتالین ساخت. و به این ترتیب به علم شیمی وحدت موضوعی بخشید. بعدها نیز معلوم گشت که جهان شیمی آلی در حقیقت از ترکیب چهار عنصر اکسیژن، کربن، ازت و هیدروژن تشکیل شده که به مقادیر مختلفی با یکدیگر ترکیب می گردند.

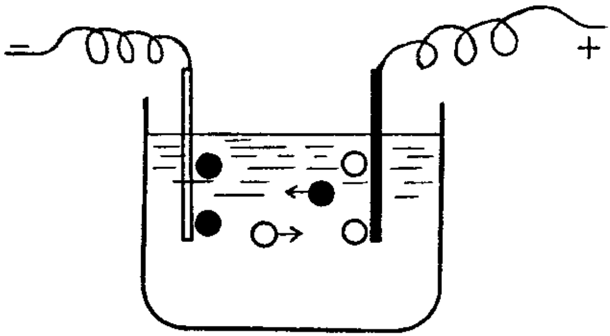
8. Kekule 9. Louis Pasteur 10. Lebel 11. Vanthoff

۱۲. تاریخ علوم، پی یر روسو، صفحه ۶۹۴

13. Woehler 14. Berthelot

مایکل فارادی[15] انگلیسی (۱۸۶۷ـ۱۷۹۱) شاگرد همفری دیوی درسال ۱۸۳۴ پی برد که اگر از محلولهای مواد مختلف (که مولکولهای آنها از اتمهای یك ظرفیتی تشکیل شده باشد) به مقدار مساوی، برقی معادل ۹۶ ۴۸۴/۵۲ کولن عبور دهیم، همواره در اطراف الکترودها مقدار ماده ای برابر با یك اتم گرم پدیدار خواهد گشت. برای مثال از الکترولیز نمك طعام همواره ۲۳ گرم فلز سدیم و ۳۷/۵ گرم گاز کلر پدید می آید. در نتیجه کمترین مقدار باری که یك یون با خود حمل می کند معادل $e = ۴/۸۰۲ = ۱۰^{-۱۰}$ (CGS) می باشد (واحد الکترواستاتیکی الکتریسیته).

جورج جونستون استونی[16] (۱۹۱۱ـ۱۸۲۶) اهل ایرلند درسال ۱۸۹۱، این کمترین مقدار بار منفی را الکترون نامید و بدین ترتیب الکترون به عنوان اتم الکتریسیته برگزیده شد. (کلمات الکترون و الکتریسیته از واژهٔ الکترای یونانی به معنی کهربا مشتق شده اند.) اما پذیرش ساختمان اتم وار الکتریسیته مشکل می نمود. زیرا در این صورت تصور راحت و معمولی از برق به مثابه جریانی پیوسته که بدون اشکال در اجسام نفوذ می نماید در هم ریخته می شد.



شکل ۶ـ۲. عمل الکترولیز

15. Michael Farady 16. Stoney

ماکسول درسال ۱۸۷۳ احتمال می‌داد که در الکترولیت، مولکولها با مقدار معینی الکتریسیته بار شده باشند، ولی به نظر او این فرضیهٔ جالب منجر به اشکالات زیادی می شد. تا اینکه **هلمهولتز**[17] (۱۸۹۴-۱۸۲۱) در سال ۱۸۸۱ در مراسم یادبود مایکل فارادی برای نخستین بار به طور واضح و آشکار فکر ساختمان مولکولی الکتریسیته را اعلام نمود. ولی با همهٔ این حرفها از نظر علم، ایدهٔ الکترون احتیاج به دلایل و مدارك تجربی نیز داشت. از اینرو کسانی چون پلوکر و کروکس شروع به تجسس الکترونها در پدیده هایی نظیر قابلیت هدایت گازها کردند.

درسالهای (۱۸۲۹-۱۸۱۶) یك شیمیدان آلمانی به نام **یوهان ولفگانگ دوبراینر**[18] (۱۸۴۹-۱۷۸۰) نتیجهٔ مطالعات خود را در مورد طبقه‌بندی عناصر برحسب خواص شیمیایی مشابه آنها منتشر نمود، و آنها را به گروههای سه‌تایی تقسیم کرد. به طوری که جرم اتمی یکی از آنها معادل میانگین جرمهای اتمی دوتای دیگر است.

برای مثال:

Li = ۷
Na = ۲۳
K = ۳۹

جرم اتمی سدیم $\frac{۷+۳۹}{۲} = ۲۳$

Cl = ۳۵/۵
Br = ۸۰
I = ۱۲۶/۵

جرم اتمی برم (به طور تقریبی) $\frac{۳۵/۵+۱۲۶/۵}{۲} = ۸۱$

گروههای دوبراینر را گروههای سه گانه یا تریادها[19] نامیدند. اما این گونه گروه بندی سه تایی فقط در مورد چند عنصرمحدود ماند، و این پرسش مطرح شد که در مورد عناصر دیگر چه باید گفت؟ با وجود این، مشاهده های دوبراینر نشان داد که میان خواص شیمیایی عناصر و جرم اتمی آنها روابطی وجود دارد.

بعد از ۲۵ سال نظریهٔ سه‌تایی عناصر، بسط داده شد و عناصر به گروههای چهارتایی و

17. Herman Von Helmholtz 18. Johan Wolfgang Dobereiner 19. Triads

پنج تایی با خواص شیمیایی متشابه تقسیم شدند. برای مثال:

F , Cl , B , I

O , S , Sc , Te

Mg , Ca , Sr , B

درسال ۱۸۶۳، جان الکساندر راینا نیولندز[۲۰] (۱۸۹۸ـ۱۸۳۷) دانشمند انگلیسی پس از آنکه عناصر را به ترتیب افزایش جرم اتمی شان تنظیم کرد، بدین نکته پی برد که از هرکجا که شروع کنیم عناصر «هفت درمیان» دارای خواص متشابه‌اند. (مانند نت هشتم در موسیقی.) نیولندز این رابطه را قانون اکتاوها یا قانون هشت تایی نامید.

H	Li	Be	B	C	N	O
F	Na	Mg	Al	Si	P	S
Cl	K	Ca	Cr	Ti	Mn	Fe
Co,Ni	Cu	Zn	Y	In	As	Se
Br	Rb	Sr	Ce,La	Zr	Di,Mo	Ro, Ru
Pd	Ag	Cd	Sn	U	Sb	Te
I	Cs	Ba, V	Ta	W	Nb	Au
Pt, Ir	Os	Hg	Tl	Pb	Bi	Th

جدول ۶ـ۱. جدول تناوبی نیولندز

این سیستم تناقضات زیادی را دربرداشت و فقط برای ۱۶ عنصر نخستین، کاملاً درست بود. ولیکن برپایهٔ یك فرضیهٔ صحیح بنا نهاده شده بود که در آن خواص عناصر برحسب دوره های معین با افزایش جرم اتمی تغییر می کردند.

سرانجام درسال ۱۸۶۹ دیمیتری ایوانویچ مندلیف[۲۱] (۱۹۰۷ـ۱۸۳۴) شیمیدان روسی، ۶۳ عنصر شناخته شدهٔ زمان خود را با توجه به نکات زیر در یك جدول تنظیم کرد.

«۱ـ عناصر شناخته شده را با افزایش جرم اتمی مرتب نمود، و آنها را در یك ردیف قرار داد. سپس عناصر متشابه (خانواده های شیمیایی) را در یك ستون زیرهم نوشت.

20. J. A. Reina Newlands 21. Mendeleiev

۲ـ جرم اتمی کلیهٔ عناصر شناخته شدهٔ زمان خود را به طور دقیق‌تر حساب کرد.
۳ـ برای اینکه عناصر متشابه، زیرهم قرار بگیرند، عناصر هر ستون را به دو دسته تقسیم نمود؛ یك دسته به نام عنصرهای اصلی و دیگری، عناصر فرعی بودند.
۴ـ در چند مورد ترتیب صعودی جرم اتمی را رعایت نکرد. برای مثال تلور به جرم اتمی ۱۲۸ را قبل از ید به جرم اتمی ۱۲۷ نوشت. تا این عنصر بتواند در زیر متشابهین خود قرار بگیرد (بعدها معلوم شد که در حقیقت ترتیب همهٔ عناصر جدول مندلیف برحسب افزایش عدد اتمی آنهاست).
۵ـ در بعضی از خانه‌های جدول بیش از یك عنصر قرار داد.
۶ـ بعضی از خانه‌های جدول را خالی گذاشت و معتقد بود که آن خانه‌ها محل عناصر کشف نشدهٔ موجود در طبیعت است.»[۲۲]

در جدول مندلیف فقط ۳۶ عنصر از اصل تصاعدی جرم اتمی پیروی می‌کردند. برای ۲۰ عنصر این اصل نقض شده بود، و برای ۷ عنصر باقیمانده هم، مندلیف جرم اتمی آنها را طبق جدول خود تصحیح نمود. او بقدری به سیستم طبقه‌بندی خود اطمینان داشت که براساس آن خواص اصلی عناصر را که هنوز کشف نشده بود پیشگویی کرد. (برای آنها در جدول خود خانه‌های مناسبی را نیز خالی گذاشته بود.) بسیاری از این عناصر نیز با همان خواص پیش‌بینی شده بزودی کشف شدند. برای مثال: اسکاندیوم نمره ۲۱ درسال ۱۸۷۵، گالیوم نمره ۳۱ درسال ۱۸۷۹، ژرمانیوم نمره ۳۲ درسال ۱۸۸۶، رنیوم نمره ۷۵ درسال ۱۹۲۵ و تکنسیوم نمره ۴۳.

یولیوس لوترمایر[۲۳] یالوتارمیر (۱۸۹۵ـ۱۸۳۰) شیمیدان آلمانی، یکسال بعد از عرضه شدن جدول مندلیف، جدول متشابهی را در سالنامه‌های لیبیگ انتشار داد.

مایر سرتاسر جدول عنصرها را از نظر حجم اتمی و نسبت به جرم اتمی بررسی کرد، و نموداری بدست آورد که شبیه یك سلسله امواج پشت سرهم بود. کمبود اصلی جدول مایر آن بود که در آن وجود هیچ عنصر ناشناخته‌ای پیش‌بینی نشده بود.

---

۲۲. شیمی عمومی (آموزشگاه فنی انرژی هسته ای ایران)، اثر احمد قدس و...، انتشارات سازمان انرژی اتمی ایران، صفحه ۲۵

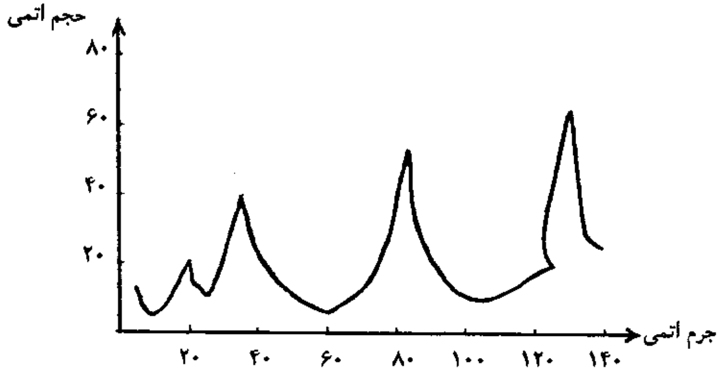
23. Lother Mayer

به هرحال، مندلیف به کشف الفبای طبیعت بسیار نزدیك شده بود. سیستم تناوبی عناصر جدول او حدت مباحث فلسفی دیرینهٔ ارسطویی و دموکریتوسی در بارهٔ طبیعت عناصر را تا حد زیادی فرو نشاند. در قسمت افقی جدول، تغییرات نامرئی خواص اتم دموکریتوس یعنی جرم اتمی نمودار می‌شود (کمیت). و در قسمت عمودی آن، عناصر به طور طبیعی در خانواده های شیمیایی دسته‌بندی می‌شوند. اعضای هر خانوادهٔ شیمیایی دارای خواص مشترك و مشخص اند که با کیفیت‌های قدیمی ارسطو قوم و خویشند. از قرار معلوم لاگرانژ گفته است:

«نیوتن خوشبخت بود چون سیستم جهانی را فقط یکبار می‌توان تعیین کرد.»

مندلیف نیز سیستم جهان شیمی را معین کرد، که این را هم فقط یکبار می‌توان معین کرد. از آن به بعد، تلاش عده ای از دانشمندان صرف این شد که مجهولات، ابهامات، کاستیها و نواقص جدول مندلیف رفع شود. مقوله هایی چون عنصر، اتم، کمیت، کیفیت، خواص فیزیکی و شیمیایی عناصر مشخص‌تر شدند، و از همه مهمتر کنکاش در ساختمان داخلی خود اتم کم کم آغاز گردید.

برای همگان شگفت‌انگیز بوده و هست که تمام این جهان سرشار از رنگها، عطرها، کوهها و موجودات زنده تنها از چندین عنصر شناخته شده باشد. بعلاوه شکل ظاهری اغلب این عناصر هم به طور معمول چندان خوشایند بنظر نمی‌رسد، و هیچ شباهتی به زیبایی‌های جهانی که بوجود آورده اند، ندارند.



شکل ۶ـ۳. منحنی حجم اتمی لوترمایر

جدول تناوبی عناصر

دورهٔ تناوب

عناصر واسطه: IIIB – IIB

	IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIB	VIIIB	VIIIB	VIIIB	IB	IIB	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA
$n=1$	1 H 1.00																	2 He 4.00
$n=2$	3 Li 6.94	4 Be 9.01											5 B 10.8	6 C 12.01	7 N 14.01	8 O 16.00	9 F 19.0	10 Ne 20.2
$n=3$	11 Na 23.0	12 Mg 24.3											13 Al 27.0	14 Si 28.1	15 P 31.0	16 S 32.1	17 Cl 35.5	18 Ar 39.9
$n=4$	19 K 39.1	20 Ca 40.1	21 Sc 45.0	22 Ti 47.9	23 V 50.9	24 Cr 52.0	25 Mn 54.9	26 Fe 55.8	27 Co 58.9	28 Ni 58.7	29 Cu 63.5	30 Zn 65.4	31 Ga 69.7	32 Ge 72.6	33 As 74.9	34 Se 79.0	35 Br 79.9	36 Kr 83.8
$n=5$	37 Rb 85.5	38 Sr 87.6	39 Y 88.9	40 Zr 91.2	41 Nb 92.9	42 Mo 95.9	43 Tc (99)	44 Ru 101.1	45 Rh 102.9	46 Pd 106.4	47 Ag 107.9	48 Cd 112.4	49 In 114.8	50 Sn 118.7	51 Sb 121.8	52 Te 127.6	53 I 126.9	54 Xe 131.3
$n=6$	55 Cs 132.9	56 Ba 137.3	57× La 138.9	72 Hf 178.5	73 Ta 180.9	74 W 183.9	75 Re 186.2	76 Os 190.2	77 Ir 192.2	78 Pt 195.1	79 Au 197.0	80 Hg 200.6	81 Tl 204.4	82 Pb 207.2	83 Bi 209.0	84 Po (209)	85 At (210)	86 Rn (222)
$n=7$	87 Fr (223)	88 Ra (226)	89×× Ac (227)	104 Ku 260	105 Ha	106	107	108										

$n=6$	×	58 Ce 140.1	59 Pr 140.9	60 Nd 144.2	61 Pm (147)	62 Sm 150.4	63 Eu 152.0	64 Gd 157.3	65 Tb 158.9	66 Dy 162.5	67 Ho 164.9	68 Er 167.3	69 Tm 168.9	70 Yb 173.0	71 Lu 175.0	
$n=7$	××	90 Th (232.0)	91 Pa (231)	92 U 238.0	93 Np (237)	94 Pu (242)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (249)	98 Cf (251)	99 Es (254)	100 Fm (253)	101 Md (256)	102 No (253)	103 Lr (257)	

جدول علامات شیمیایی و جرمهای اتمی تقریبی عناصر به ترتیب اعداد اتمی

عدد اتمی	نام عنصر	علامت عنصر	جرم اتمی	عدد اتمی	نام عنصر	علامت عنصر	جرم اتمی
۱	هیدروژن	H	۱	۲۹	مس	Cu	۶۳/۵
۲	هلیم	He	۴	۳۰	روی	Zn	۶۵
۳	لیتیم	Li	۷	۳۱	گالیم	Ga	۶۹/۵
۴	بریلیم	Be	۹	۳۲	ژرمانیم	Ge	۷۲/۵
۵	بور	B	۱۱	۳۳	ارسنیك	As	۷۵
۶	کربن	C	۱۲	۳۴	سلنیم	Se	۷۹
۷	نیتروژن(ازت)	N	۱۴	۳۵	برم	Br	۸۰
۸	اکسیژن	O	۱۶	۳۶	کریپتون	Kr	۸۳/۵
۹	فلوئور	F	۱۹	۳۷	روبیدیم	Rb	۸۵/۵
۱۰	نئون	Ne	۲۰	۳۸	استرنسیم	Sr	۸۷/۵
۱۱	سدیم	Na	۲۳	۳۹	ایتریم	Y	۸۹
۱۲	منیزیم	Mg	۲۴	۴۰	زیرکونیم	Zr	۹۱
۱۳	آلومینیم	Al	۲۷	۴۱	نیوبیم	Nb	۹۳
۱۴	سیلیسیم	Si	۲۸	۴۲	مولیبدن	Mo	۹۶
۱۵	فسفر	P	۳۱	۴۳	تکنسیم	Tc	۹۹*
۱۶	گوگرد	S	۳۲	۴۴	روتنیم	Ru	۱۰۱
۱۷	کلر	Cl	۳۵/۵	۴۵	رودیم	Rh	۱۰۳
۱۸	آرگن	Ar	۴۰	۴۶	پالادیم	Pd	۱۰۶/۵
۱۹	پتاسیم	K	۳۹	۴۷	نقره	Ag	۱۰۸
۲۰	کلسیم	Ca	۴۰	۴۸	کادمیم	Cd	۱۱۲/۵
۲۱	اسکاندیم	Sc	۴۵	۴۹	اندیم	In	۱۱۴/۵
۲۲	تیتان	Ti	۴۷	۵۰	قلع	Sn	۱۱۸/۵
۲۳	وانادیم	V	۵۱	۵۱	انتیموان	Sb	۱۲۱/۵
۲۴	کروم	Cr	۵۲	۵۲	تلور	Te	۱۲۷/۵
۲۵	منگنز	Mn	۵۵	۵۳	ید	I	۱۲۷
۲۶	آهن	Fe	۵۶	۵۴	گزنون(زنون)	Xe	۱۳۱
۲۷	کبالت	Co	۵۹	۵۵	سزیم	Cs	۱۳۳
۲۸	نیکل	Ni	۵۸/۵	۵۶	باریم	Ba	۱۳۷

جدول علامات شیمیایی و جرمهای اتمی تقریبی عناصر به ترتیب اعداد اتمی

عدد اتمی	نام عنصر	علامت عنصر	جرم اتمی	عدد اتمی	نام عنصر	علامت عنصر	جرم اتمی
۵۷	لانتان	La	۱۳۹	۸۲	سرب	Pb	۲۰۷
۵۸	سریم	Ce	۱۴۰	۸۳	بیسموت	Bi	۲۰۹
۵۹	پراسئودیمیم	Pr	۱۴۱	۸۴	پولونیم	Po	۲۱۰
۶۰	نئودیمیم	Nd	۱۴۴	۸۵	استاتین	At	۲۱۰*
۶۱	پرومتیم	Pm	۱۴۷	۸۶	رادون	Rn	۲۲۲*
۶۲	ساماریم	Sm	۱۵۰/۵	۸۷	فرانسیم	Fr	۲۲۳*
۶۳	اروپیم	Eu	۱۵۲	۸۸	رادیم	Ra	۲۲۶*
۶۴	گادولینیم	Gd	۱۵۷	۸۹	آکتینیم	Ac	۲۲۷*
۶۵	تربیم	Tb	۱۵۹	۹۰	توریم	Th	۲۳۲
۶۶	دیسپروزیم	Dy	۱۶۲/۵	۹۱	پروتاکتینیم	Pa	۲۳۱*
۶۷	هولمیم	Ho	۱۶۵	۹۲	اورانیم	U	۲۳۸
۶۸	اربیم	Er	۱۶۷	۹۳	نپتونیم	Np	۲۳۷*
۶۹	تولیم	Tm	۱۶۹	۹۴	پلوتونیم	Pu	۲۴۲*
۷۰	ایتربیم	Yb	۱۷۳	۹۵	امریسیم	Am	۲۴۳*
۷۱	لوتسیم	Lu	۱۷۵	۹۶	کوریم	Cm	۲۴۷*
۷۲	هافنیم	Hf	۱۷۸/۵	۹۷	برکلیم	Bk	۲۴۹*
۷۳	تانتال	Ta	۱۸۱	۹۸	کالیفورنیم	Cf	۲۵۱*
۷۴	تنگستن (ولفرام)	W	۱۸۴	۹۹	اینشتینیم	Es	۲۵۴*
۷۵	رنیم	Re	۱۸۶	۱۰۰	فرمیم	Fm	۲۵۳*
۷۶	اسمیم	Os	۱۹۰	۱۰۱	مندلویم	Md	۲۵۶*
۷۷	ایریدیم	Ir	۱۹۲	۱۰۲	نوبلیم	No	۲۵۴*
۷۸	پلاتین	Pt	۱۹۵	۱۰۳	لورنسیم	Lw	۲۵۷*
۷۹	طلا	Au	۱۹۷	۱۰۴	کورچاتوویم	Ku	۲۶۴*
۸۰	جیوه	Hg	۲۰۰/۵	۱۰۵	هانیم	Ha	
۸۱	تالیم	Tl	۲۰۴	۱۰۶			
				۱۰۷			

جرمهای اتمی عناصری که به علامت * مشخص شده مربوط به فراوانترین یا باثبات ترین ایزوتوپ آن عناصر است.

فصل هفتم

از مدل اتمی تامسون تا مدل اتمی راترفورد

ژولیوس (یولیوس) پلوکر[1] (۱۸۶۸ـ۱۸۰۱) بین دو مفتول فلزی که در دو انتهای یك لولهٔ شیشه ای محتوی گاز جوش داده بود، اختلاف پتانسیل مناسبی برقرار کرد و مشاهده نمود که از مدار مربوطه، جریانی عبور می کند که یادآور قضیهٔ الکترولیز است. با این تفاوت که در عمل الکترولیز مایعات باعث برقراری جریان الکتریسیته هستند و در اینجا گازها (گازهایی که در حالت عادی عایق جریان الکتریسیته هستند).

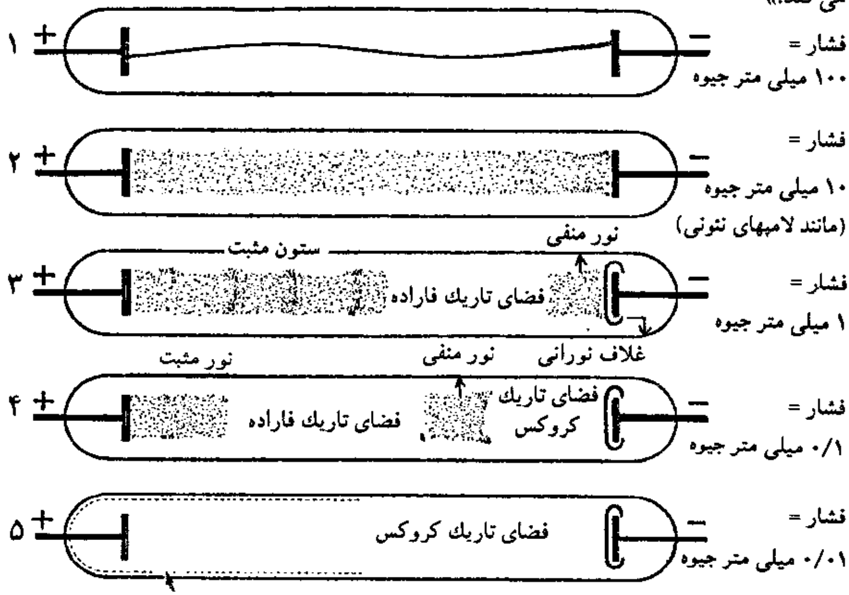
پلوکر ثابت کرد که قابلیت هدایت گاز وابسته به میزان تراکم آن در لوله بوده و با خارج کردن مقداری از آن یا به عبارت دیگر با کم کردن فشار گاز افزایش خواهد یافت. در این حالت است که هرگازی شروع به درخشیدن به رنگ خاص خود می کند. به طوری که بر حسب رنگ درخشش می‌توان نوع گاز را در لوله تعیین کرد.(اعلانهای نئونی تجارتی از جمله آثار این اکتشاف است.)

اگر میزان خلاء را در لوله زیاد کنیم، آنگاه در حوالی کاتد فضای تاریکی ظاهر می شود که اگر خارج کردن گاز را از لوله ادامه دهیم، این فضا توسعه یافته و سرانجام لوله را پر می کند، و لوله دیگر از درخشندگی باز می‌ماند. ولی در همین شرایط نیز اشعه ای نامرئی از میان لوله در حال عبور است که در برخورد با اجسام دیگر وجود خود را نمایان می سازد.

1. Plucker

آویگن گلدشتین (۱۹۳۱ـ۱۸۵۰) یکی از شاگردان پلوکر در سال ۱۸۷۶ این اشعه را «کاتدیك» نامید. قبلاً در سال ۱۸۶۹ یوهان ویلهلم هیتورف[2] (۱۹۱۴ـ۱۸۲۴) شاگرد دیگر پلوکر، انحراف آنها را در میدان مغناطیسی پیدا کرد. و سرانجام در سال ۱۸۷۹ **کرمول ورلی** (۱۸۸۳ـ۱۸۲۸) نشان داد که آنها دارای بار منفی هستند.

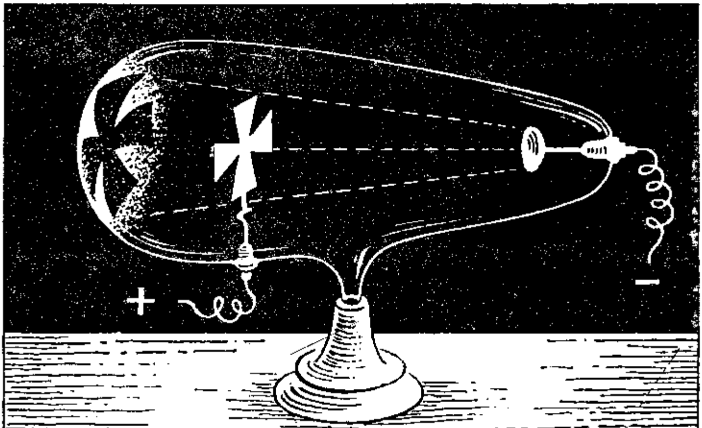
در ابتدا سعی می‌شد این پدیده‌ها را به زبان تصورات موجی بفهمند. در آن زمان دانشمندان می‌پرسیدند چرا هدایت گازها در اثر تقلیل فشار آنها در لوله افزایش می‌یابد؟ چرا فقط سیل اشعه منفی پیدا شده است و از مثبت خبری نیست؟ تا اینکه **ویلیام کروکس**[3] (۱۹۱۹ـ۱۸۳۲) گاز داخل لوله را با شدت بیشتری تخلیه کرد؛ در این حالت از کاتد فضای تاریك دیگری جدا شد که آن نیز به تدریج تمام لوله را پر کرد. و از آن پس بود که از آند، رنگ سبزی شعله کشید. آن روز درسال ۱۸۷۸ را می‌توان تولد لوله‌های اشعه الکترونی شمرد. کروکس در این مورد نوشت: «ما واقعاً به آن منطقه مرزی دست یافته ایم که ماده و انرژی تداخل می کند.»



شکل ۷ـ۱. تخلیه الکتریکی در گازهای رقیق

2. Hittorf 3. Crooks

کروکس با آزمایش ثابت کرد که پرتوهای کاتدی:
۱ـ به خط مستقیم انتشار می‌یابند.
۲ـ موجب نورافشانی اجسام می‌گردند و حتی قادرند که آنها را ذوب نمایند.
۳ـ در میدانهای الکتریکی و مغناطیسی منحرف می‌گردند.
۴ـ دراجسام جامد خیلی کم نفوذ می‌کنند.
۵ـ در هوا، راهی حدود هفت سانتی متر را طی می‌کنند.
۶ـ و از همه مهمتر اشعهٔ کاتدی سیل سریعی از ذرات باردار منفی است که ابعاد آنها به میزان قابل ملاحظه‌ای کمتر از ابعاد اتمهاست.



شکل ۷ـ۲. «اشعه کاتدی وقتی بر شیشه می‌تابد، آن را با نور سبز کمرنگی فروزان می‌کند. این اشعه سایهٔ هر جسمی را که سر راهش قرار بگیرد، بر روی شیشه می‌افکند.»

حالا دیگر سرنخ قضایا پیدا شده بود، و لازم بود که خصوصیات اتم الکتریسیته یا الکترون یعنی بار، جرم، سرعت و ابعادش معین گردد. برای رسیدن به این اهداف دانشمندان حدود ۲۰ سال کار کردند. از همه شگفت‌تر اینکه معلوم شده بود که خواص اشعه کاتدی به ترکیب گاز موجود در لوله بستگی ندارد و این خود بدان معنی است که ذرات کاتدی جزء حتمی کلیه

اتمهاست. ولی همین نکته نتیجه‌ای بود که خیلی سخت بدست آمد.

در همین راستا ژان پرن فرانسوی[4] (۱۹۴۲ـ۱۸۷۰) درسال ۱۸۹۷ با خود گفت که اگر اشعه کاتدی به واقع از گلوله‌های الکتریسیته‌دار تشکیل یافته باشد می‌بایستی آنها هنگام تماس با برق نمایا الکتروسکوپ، الکتریسیته‌دار بودن‌خود را ثابت کنند. در نتیجه او با انجام آزمایشی، وجود الکتریسیتهٔ منفی اشعه کاتدی را به طور قطعی نمایان ساخت. و درستی فرض وجود ذرات کوچك استونی (الکترون) را به اثبات رسانید.

فیلیپ لنارد آلمانی[5] (۱۹۴۷ـ۱۸۶۲) درسال ۱۸۹۴ با تعبیه پنجرهٔ کوچکی از آلومینیم در لولهٔ کروکس، و با مشاهدهٔ عبور اشعه کاتدی از آن چنین بیان نمود که اشعهٔ کاتدی از امواج تشکیل شده است، نه از ذرات. این اشعه می‌توانست بآسانی از پرده‌های گوناگونی که در مسیرش قرار می‌دادند براحتی عبور کند بی‌آنکه سوراخی در آنها پدید آورد.

گییوم کنراد رونتگن[6] (۱۹۲۳ـ۱۸۴۵) درپی تکرار آزمایش لنارد بود. او درسال ۱۸۱۵ با آنکه لوله کروکس خود را در کاغذ سیاهی پیچیده بود، مشاهده کرد که پردهٔ آغشته به یك ماده فلوئورسنت که در نزدیکی لوله قرار داشت، بدون علتی روشن می‌شود. مورد شگفت‌انگیزی بود، زیرا این تشعشع نامرئی از طرف اشعه کاتدی نبود، و معلوم شده بود که اشعه کاتدی نمی‌تواند از شیشه لوله کروکس عبور کند.

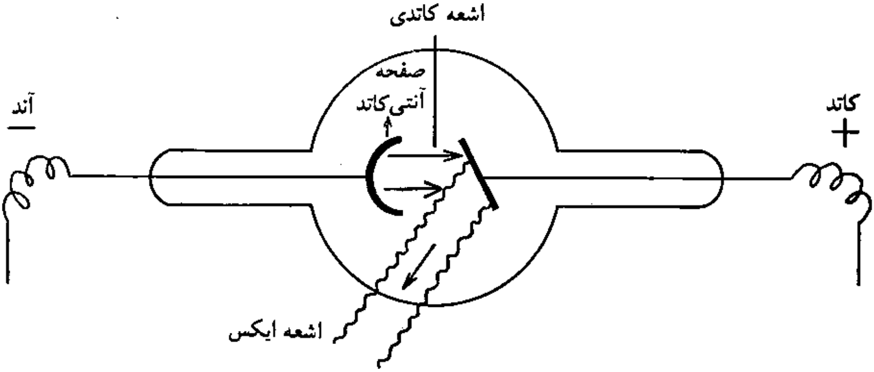
سرانجام درپی چند آزمایش دیگر، رونتگن پی برد که اشعهٔ مزبور از کاتد صادر نمی‌شود، بلکه از صفحهٔ آلومینیمی یا آنتی کاتد ساطع می‌شود (در حقیقت وقتی پرتوهای کاتدی با ماده برخورد می‌کنند، نوع جدیدی از تشعشع ایجاد می‌شود). بدنبال کشف قابلیت نفوذ این اشعه، گویا رونتگن لولهٔ خود را به طرف در اطاق گرفت و یك صفحهٔ عکاسی در پشت در قرار داد. او با شگفتی مشاهده نمود که صفحهٔ عکاسی، تصویر در را با تمام خطوط داخلی چوب ثبت کرده است.

رونتگن این اشعه را به دلیل ماهیت ناشناخته اش، اشعهٔ مجهول یا اشعهٔ ایکس نام نهاد. او که خیال داشت کیفیت اشعه کاتدی را معین کند، نه تنها این مسئله را حل نکرد، بلکه مسئله‌ای به نام ماهیت اشعهٔ ایکس را نیز اضافه نمود. آیا اشعهٔ ایکس، از ذرات تشکیل شده یا از امواج؟ بار دیگر فیزیکدانان به دو دسته تقسیم شدند. خود رونتگن از نظریهٔ موجی دفاع

4. Jean Perrin 5. Lenard 6. Roentgen.

می کرد. او در سال ۱۹۲۰ بکار بردن کلمهٔ الکترون را به همکاران و دستیاران انستیتوی خود ممنوع کرده بود.

در سال ۱۹۱۲ **ماکس فون لو**[7] (فون لانوه) (۱۹۶۰ـ۱۸۷۹) فیزیکدان آلمانی با کمك بلور طول موج اشعهٔ ایکس را محاسبه کرد، و خواص موجی تداخل (انترفرانس) و پراش (دیفراکسیون) را در آنها مشاهده نمود. (هنگامی که امواج نور از یك جسم مشبك عبور نمایند یا در آن منعکس شوند، ایجاد تداخل نموده و یك الگوی تفرق بوجود می آورند. از این خاصیت نور برای اثبات مقدماتی ماهیت موجی اشعهٔ ایکس استفاده شد. برای این منظور از ترتیب منظم اتمها در شبکهٔ بلور استفاده می شود. اشعه ایکس پس از عبور از شبکه بلور بر روی پردهٔ واقع در پشت آن، الگوی تفرقی که از حلقه‌های متحدالمرکز تشکیل شده است، بوجود می آورد.)



شکل ۷ـ۳. لوله تولید کننده اشعه ایکس، «آند هر جای لوله که باشد پرتو کاتدی به طور مستقیم منتشر می شود. در نتیجه در آزمایش اخیر اگر آند در قسمت دیگری از لوله باشد در صورتی که صفحه آنتی کاتد در مسیر پرتو کاتدی باشد، بازهم اشعه ایکس بوجود می آید.»

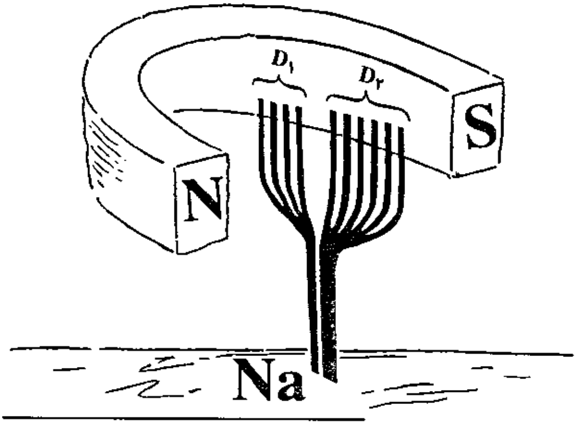
7. Max Von Laue

در مورد اندازهٔ طول موجها، حالا دیگر پس از شناسایی امواج نور مرئی، اشعهٔ ماوراءبنفش و امواج الکترومغناطیسی ماکسول ـ هرتز، طول موج اشعه ایکس به عنوان کوچکترین طول موج شناخته شده، توسط رونتگن و فون‌لو به ثبت رسید.

درسال ۱۸۹۵ بود که **هندریك آنتوان لورنتز**[۸] هلندی (۱۹۲۸ـ۱۸۵۳) با خود اندیشید که اگر الکترون، یعنی، ذره ای که با بار الکتریکی منفی وجود داشته باشد، پس بایستی بتوانیم با اتکا به این الکترون تمام تئوری ماکسول را دوباره بنا کنیم. و کافی است به جای سیال[۹] پیوسته الکتریکی، از مجموعهٔ الکترونها گفتگو کنیم.

بدین ترتیب بود که لورنتز مفهوم اتم الکتریسیته یا الکترون را در معادلات موجی الکترومغناطیسی ماکسول وارد کرد. او الکترون متحرك را به عنوان منبع میدان الکترومغناطیسی در نظر گرفت. از نظر لورنتز چون ماده نیز شامل الکترون می باشد، بنا براین باید امواج الکترومغناطیسی مانند نور، روی آن دارای تأثیر مخصوصی باشند. در نتیجه، **پیترزیمان**[۱۰] (۱۹۴۳ـ۱۸۶۵) فیزیکدان هلندی در سال ۱۸۹۶ با کشف اثر خود (اثر زیمان) این تئوری لورنتز را تأیید کرد.

مطابق اثر زیمان وقتی جسمی مانند سدیم را که طیف خطی منتشر می کند در یك میدان مغناطیسی قوی قرار دهیم. هریك از خطوط طیف به چند خط نزدیك به هم تجزیه می شود. در همین راستا **یوهان اشتارك**[۱۱] (۱۹۵۷ـ۱۸۷۴) فیزیکدان آلمانی نیز اثر مشابهی را با استفاده از میدانهای الکتریکی کشف می کند.

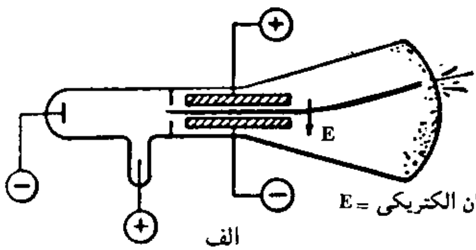


شکل ۷ـ۴. تجزیهٔ طیف دو خط زرد D۱ و D۲ اتم سدیم در میدان مغناطیسی N–S.

8. Lorentz 9. Fluid 10. Zeeman 11. Stark

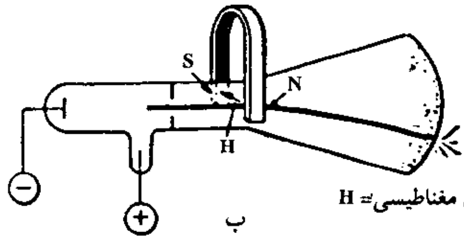
جوزف جان تامسون[12] (۱۸۵۶-۱۹۴۰) فیزیکدان انگلیسی با فرض اینکه اشعه «کاتدیك» ذراتی، تندپروازند، بر آن شد که جرم و بار الکتریکی آنها را اندازه گیری کند. او با کمك آزمایش به انحراف الکترون در میدان مغناطیسی پی برد. انحراف مزبور نه تنها به جرم و بار ذرات در حال پرواز بستگی دارد، بلکه به سرعت آنها نیز مربوط می‌باشد. سپس او مقدار $\frac{mv}{e}$ را محاسبه نمود، و با کمك آزمایش انحراف الکترون در میدان الکتریکی، مقدار $\frac{mv^2}{e}$ را نیز بدست آورد، که از تقسیم طرفین این تساویها مقدار سرعت الکترون (V) را محاسبه نمود. البته مقدار سرعت به شدت میدانها بستگی دارد ولی مقدار $\frac{e}{m}$ همواره ثابت و برابر با $۵/۲۸\times ۱۰^{۷}$ (esu/gr) است.

در آزمایش دیگری تامسون با الهام گیری از روش **ویلسون**[13]، (اگر هوای بی گرد و غبار اشباع شده از بخار آب ناگهان بر اثر انبساط، سرد شود، قطرات ریز آب بر هر یونی که ممکن است در آن وجود داشته باشد تشکیل می شود.) هنگامی که پیستون را به طور ناگهانی به بالا کشید (شکل ۷-۵)، هوا انبساط یافت (کمتر از ۳۰٪) در نتیجه ابر مه آلودی به وسیلهٔ تراکم بخار آب بر یونهای مثبت دراتاقك نمایان شد. مه به آهستگی بر قرصی فلزی فرو نشست و بار کل الکتریکی یونهایی که تشکیل شده بود به وسیله برقنما (الکتروسکوپ) اندازه گیری شد.



امتداد میدان الکتریکی = E

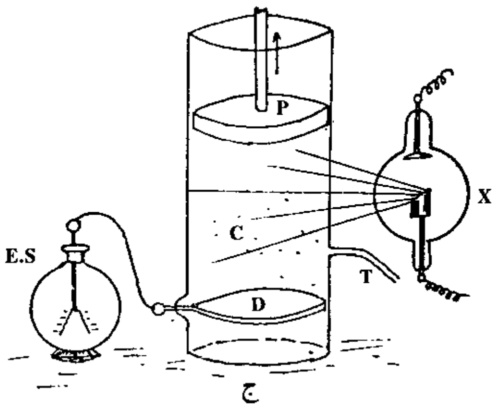
الف



امتداد میدان مغناطیسی= H

ب

12. Joseph John Thomson 13. Wilson



شکل ۷ـ۵. طرح ساده‌ای از آزمایشات تامسون

با دانستن مقدار اولیهٔ بخار آب در استوانه و حجم متوسط قطره های مه می توان مقدار کل قطره های تولید شده (یا مقدار کل یونها) را پیدا کرد.

تامسون بر آن شد که بزرگی آنها را از روی سرعتی که با آن سرعت، مه بر روی قرص فرو می نشیند، پیدا کند. زیرا که هر قدر قطره کوچکتر باشد، کندتر فرو می نشیند. او با کمك فرمول استوکس، و با تقسیم بار الکتریکی کل (که در برقنما وارد می شود) بر تعداد قطره ها، مقدار بار الکتریکی هر قطره الکترون را (esu) $۴/۷۷\times۱۰^{-۱۰}$ بدست آورد، که این مقدار برابر با همان مقداری است که در روش الکترولیز بدست آمده بود.

حالا دیگر تامسون می توانست مقدار m را از رابطه $\frac{e}{m}$ (که قبلاً مقدار آن را اندازه گیری کرده بود) پیدا کند. و معلوم شد که این مقدار برابر با $۰/۹\times۱۰^{-۲۹}$ گرم یعنی ۱۸۴۰ بار کوچکتر از جرم اتم هیدروژن است.

با دانستن این نکات بود که تامسون مدل اتمی خود را در سال ۱۹۰۷ عرضه نمود. در این مدل، اتم، همچون جرم کروی باردار مثبتی فرض شده که الکترونهای بسیار ریز فراوانی، مشابه با تخمه‌های درون هندوانه، در پیکر اتم پراکنده شده اند. و چون اتم در حالت طبیعی و عادی از نظر الکتریکی خنثی است، پس مجموع بارهای مثبت و منفی اتم باید با هم برابر باشند. تامسون مدل اتمی خود را به یك کیك کشمشی تشبیه می کرد.

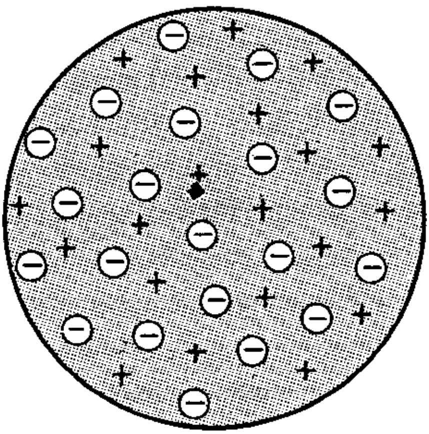
در مدل اتمی تامسون الکترونها در جای خود ثابتند. این تعادل بر اثر توازن میان نیروهای دافعه بارهای منفی الکترونها، و نیروی جاذبه بین الکترونها و بارهای مثبت اتم برقرار می گردد.

تامسون معتقد بود که بار مثبت اتم، الکترونها را به طرف مرکز کره می کشد، ولی الکترونها یکدیگر را می‌رانند. و همین مسئله سبب می شود که الکترونها در لایه‌های کروی شکل قرار بگیرند.

دراتم مثل این است که الکترونها به نوعی فنرهای ارتجاعی متصلند. وقتی ما اتم را تحریك می کنیم الکترونها شروع به نوسان می کنند، و در این حال نورهایی متشعشع می گردند که دارای فرکانس نوسانات همان فنرهای فرضی‌اند. به عبارت دیگر به نظر تامسون، خطوط طیفی به سبب نوسان الکترونها حول نقطه تعادل خود پدید می‌آیند.

به هرحال به علت عدم توجیه منطقی پراکندگی بارهای مثبت اتم، و همچنین مسئلهٔ تشعشع اتمها، از همان ابتدا مدل اتمی تامسون دارای نارساییهای چندی بود. ولی در آن زمان مدل اتمی بهتری در دسترس دانشمندان نبود.

تامسون پس از تعیین مشخصات الکترون، توجه خویش را معطوف به ذراتی کرد که در جهت مخالف حرکت الکترونها در لوله‌های تخلیه الکتریکی حرکت می کنند. پرتوهای متشکل

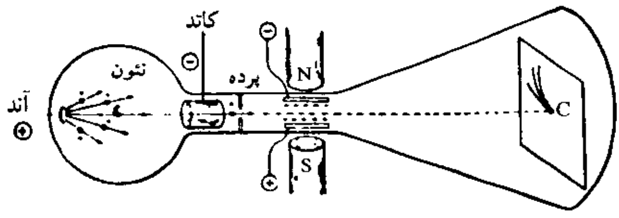


شکل ۷ـ۶. مدل اتمی تامسون

از این ذرات که دارای بار مثبت هستند به اشعهٔ کانالی موسومند. زیرا اگر در صفحهٔ کاتد سوراخ یا کانالی باشد، این ذرات می‌توانستند از آن بگذرند و در فضای پشت صفحه وارد شوند.

ذرات با بار مثبت، که هنگام تخلیه الکتریکی در گاز میان آند و کاتد بوجود می‌آیند، از سوراخ موجود در کاتد گذشته و در ناحیهٔ میدانهای الکتریکی و مغناطیسی که در همان امتدادند، وارد شدند. چون انحراف دراثر میدان الکتریکی (در امتداد افقی) متناسب با سرعت ذرات است، در حالی که انحراف در اثر میدان مغناطیسی (در امتداد عمودی) به مجذور سرعت بستگی دارد، می‌بایستی ذرات هم جرم که با سرعتهای مختلفی حرکت می‌کنند، بر روی یك سهمی، بر پرده دستگاه، توزیع بشوند. «اما تامسون مشاهده کرد که به جای یك سهمی برای هر عنصر شیمیایی مشخص دو یا چند سهمی وجود دارد. از همین جا بود که تامسون نتیجه گرفت که اتمهای یك عنصر، می‌توانند دارای جرمهای اتمی متفاوت باشند. که آنان را نسبت به هم ایزوتوپ[14] یا هم جا می‌گویند»[15] یعنی ایزوتوپ های یك عنصر همگی درون یك خانهٔ جدول مندلیف قرار داده می‌شوند.

نظریه پروت دوباره مطرح شد. زیرا پاسخ یکی از ایرادهای مخالفان تئوری او مبنی بر اینکه چرا وزن اتمی بعضی عناصر عدد صحیح نیست، داده شد: به این ترتیب که جرم اتمی عنصر در حقیقت معدل جرمهای اتمی ایزوتوپهای مختلف آن عنصر است. ولی این تئوری دوباره شکست خورد، زیرا اتم هیدروژن دیگر کوچکترین واحد ماده نبود، بلکه خودش نیز دارای اجزایی بود.



شکل ۷ـ۷. اشعه کانالی

14. Isotope

۱۵. سرگذشت فیزیك، اثر جورج گاموف، ترجمه رضا اقصی، انتشارات سکه، صفحه ۲۶۴

حالا در مورد الکترون باقی مانده بود که بار الکتریکی آن محاسبه شود. در سال ۱۹۰۹ **رابرت میلیکان**[۱۶] آمریکایی (۱۹۳۵ـ۱۸۶۸) به قطره ای از روغن بار الکتریکی داد و آن را میان دو نیروی متقابل (یعنی نیروی ثقل خود قطره و نیروی جاذبه یك جسم باردار دیگر) در حال تعادل نگاه داشت. ولی در این حالت کافی بود که به بار الکتریکی قطره مزبور کمترین تغییری داده شود تا این قطره به طرف یکی از این دو نیرو کشیده شود.

میلیکان از این آزمایش چنین نتیجه گرفت که کمترین مقدار ممکن در اینجا بار الکتریکی یك الکترون می باشد. به عبارت دیگر او از جهش قطرهٔ مزبور، بار الکتریکی الکترون را $۱/۶\times۱۰^{-۱۹}$ کولن محاسبه نمود. در سال ۱۹۱۲ **چارلز ویلسون**[۱۷] انگلیسی (۱۹۵۹ـ۱۸۶۹) توانست وسیلهٔ عکس برداری از مسیر الکترونها را تهیه کند. ولی با این وجود هنوز چندی نگذشته بود که مواد رادیو اکتیو، مدل اتمی تامسون را به زیر سئوال بردند.

هانری بکرل[۱۸] فرانسوی (۱۹۰۸ـ۱۸۵۲) در سال ۱۸۹۶ در پی کشف رونتگن به این مسئله اندیشید که آیا ممکن است اجسامی وجود داشته باشند که نه فقط در نتیجهٔ تحریك توسط اشعه کاتدی، بلکه در نتیجهٔ تأثیر نور ساده نیز اشعهٔ ایکس ساطع کنند؟ بکرل تصمیم گرفت اورانیوم را بدین منظور آزمایش کند. او قطعه‌ای از اورانیوم را روی صفحهٔ عکاسی که در لفافه‌ای از کاغذ سیاه قرار داشت می گذاشت، و در مواقع مختلف در آفتاب نگاه می‌داشت. سپس در تاریکخانه، صفحهٔ عکاسی را ظاهر می کرد و برروی آن لکهٔ سیاهی مشاهده می نمود. یك روز که هوا ابری بود مجبور شد صفحهٔ عکاسی و اورانیومی را که روی پوشش کاغذ سیاه رنگ آن نهاده بود، با هم در یکی از کشوهای میز خود بگذارد. ابری بودن هوا چند روز طول کشید. اما پس از چند روز هنگامی که او بسته را از کشوی میزش بیرون آورد و صفحهٔ عکاسی را ظاهر ساخت، مشاهده کرد که صفحه، با همان شدت قبلی سیاه شده است.

با تکرار آزمایش معلوم شد که اورانیوم و املاح آن دارای خاصیت صدور دایمی تشعشعات مخصوصی می باشند که به هیچ عامل خارجی بستگی ندارد. از این رو مبحث رادیو اکتیو برای اولین بار در برابر دانشمندان گشوده شد. و بدین ترتیب بعد از حرکت جاودانی براونی، تشعشع خود بخود و دایمی مادهٔ رادیواکتیو، دومین شکاف و ضربه را بر فیزیك کلاسیك وارد نمود.

پیر کوری فرانسوی[۱۹] و همسرش **ماری اسلکودووسکای** لهستانی[۲۰]

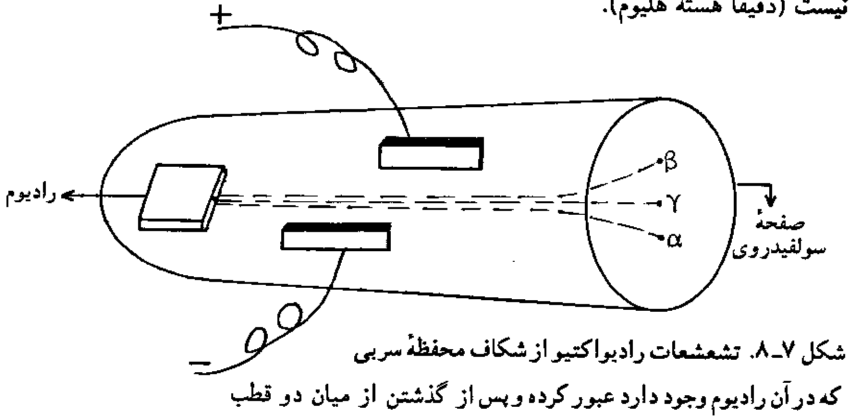
---

16. Millikan 17. Wilson 18. Becquerel 19. Curie 20. Marie Sklodowska

(۱۹۳۴_۱۸۶۷) نیز هنگام آزمایش با یکی از مواد معدنی، با تشعشعاتی مواجه شدند که چهار مرتبه قویتر از تشعشع اورانیوم بود. آنها در سال ۱۸۹۸ عناصر رادیواکتیو پولونیوم و رادیوم را کشف کردند. برای شناسایی تشعشعات مادهٔ رادیواکتیو، بکرل آهن‌ربایی را پشت یك قطعه اورانیوم قرار داد و ملاحظه کرد که تشعشعات حاصل تحت تأثیر این آهن‌ربا به سه شعبه تقسیم می‌شوند. یکی از آنها به سمت راست، یکی به سمت چپ و سومی اصلاً منحرف نمی‌گردد. **فریتز گیزل** آلمانی[21] و بکرل ثابت کردند که یکی از این سه شاخه، عبارت از یك فوران الکتریکی است (ذره بتا).

درسال ۱۹۰۰، دانشمند فرانسوی **پل ویلارد**[22] (۱۹۳۳_۱۸۶۰) ملاحظه کرد که قسمت منحرف نشده، از ذرات، تشکیل نیافته، بلکه از نوع امواج الکترومغناطیسی است، (اشعه گاما) که طول موج آن به مراتب کوتاهتر از طول موج امواج نورانی می‌باشد. و سرانجام شاخهٔ سوم، مورد مطالعهٔ **ارنست راترفورد**[23] (۱۹۳۷_۱۸۷۱) متولد زلاند نو و **فردریك سودی**[24] (۱۹۵۶_۱۸۷۷) قرار گرفت. آنها در سال ۱۸۹۸ اعلام داشتند که شاخهٔ سوم یعنی شاخه‌ای که در خلاف جهت اشعه بتا انحراف می‌یابد، از ذراتی درست شده که دارای بار الکتریکی مثبت هستند (اشعه آلفا).

راترفورد با مقایسهٔ طیفهای هلیوم واشعهٔ آلفا نتیجه گرفت که ذرهٔ آلفا چیزی جز اتم هلیوم نیست (دقیقاً هستهٔ هلیوم).



شکل ۷_۸. تشعشعات رادیواکتیو از شکاف محفظهٔ سربی که در آن رادیوم وجود دارد عبور کرده و پس از گذشتن از میان دو قطب الکتریکی، سه لکهٔ سبزرنگ بر پوشش سولفیدروی (ZnS) محفظه شیشه‌ای ایجاد می‌کنند.

21. Giessel 22. Vilard 23. Rutherford 24. Soddy

در دههٔ اول قرن بیستم بجز مدل اتمی تامسون، تئوری های دیگری نیز وجود داشت. برای مثال **ویلیام تامسون** مشهور به **لرد کلوین**[۲۵] (۱۸۲۴ـ۱۹۰۸) در تئوری اتم توفانی خود، اتم را مشابه حلقه‌های دودی تصویر می کند که یك شخص سیگاری با تجربه از دهان خود خارج می سازد. **ژان پرن** نیز درسال ۱۹۰۱ سعی داشت که ساختمان سیاره ای اتم را کم و بیش ترسیم کند.

در ژاپن نیز **خانتارو تاگوئوکا** در سال ۱۹۰۳ معتقد بود که فضای درونی اتم در مقایسه با ابعاد هستهٔ کوچك الکتریکی که آن را بوجود آورده، فوق‌العاده بزرگ می باشد. و به دیگر سخن، اتم چیزی شبیه به حلقهٔ زحل می باشد.

تا اینکه در سال ۱۹۱۹ **راترفورد** با کمك شاگردانش به این موضوع پی برد که وقتی پرتو باریکی از ذره های آلفا از یك منبع رادیواکتیو بر روی ورقهٔ بسیار نازکی از طلا تابیده شود، اکثر ذرات آلفا بدون انحراف، در مسیر اصلی خود از درون ورقهٔ طلا عبور می کنند (برای مشخص شدن این ذرات از صفحهٔ فلوئورسان استفاده می شود).

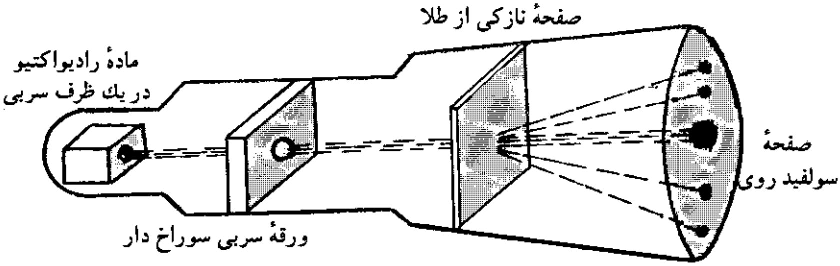
«از میان تعداد بسیار زیاد ذره های آلفا، تنها تعداد معدودی منحرف می شدند و تعداد خیلی خیلی کمی نیز به عقب برمی گشتند. برای راترفورد جای شگفتی بود که چگونه ذرات نسبتاً سنگین آلفا با سرعت زیادی که دارند، دچار این همه انحراف شده، و یا گاهی پس از برخورد به ورقهٔ طلا دوباره برمی گردند. راترفورد برای توجیه این مشاهدات چنین فرض کرد که قسمت بیشتر درون اتم را فضای خالی تشکیل می دهد، به طوری که اکثر ذرات آلفا بدون منحرف شدن از درون ورقه می گذرند. هر اتم نیز هستهٔ بسیار کوچکی دارد که محل تمرکز بارهای مثبت و تقریباً تمامی جرم اتم است».[۲۶]

راترفورد از روی نسبت تعداد ذرات منحرف شده، به تعداد ذرات منحرف نشده، و همین طور از روی زاویه‌های انحراف اشعه های منحرف شده، و با در دست داشتن جرم اتم و سرعت اشعهٔ آلفا، در نهایت توانست حجم، مقدار بار هسته، و جرم هسته را با تقریب قابل قبولی محاسبه نماید.

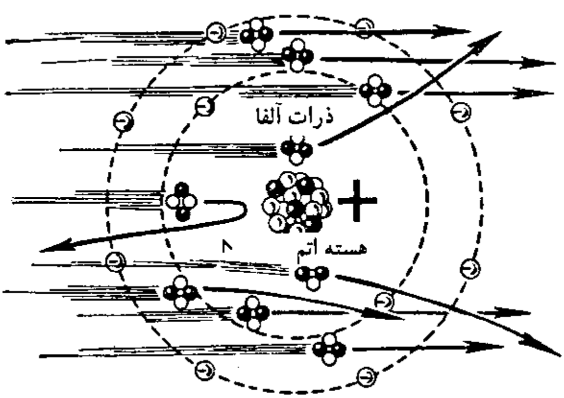
---

25. Kelvin

۲۶. شیمی (سال دوم آموزش متوسطه عمومی)، اثر منصور عابدینی و...، انتشارات وزارت آموزش و پرورش، صفحه ۲۹

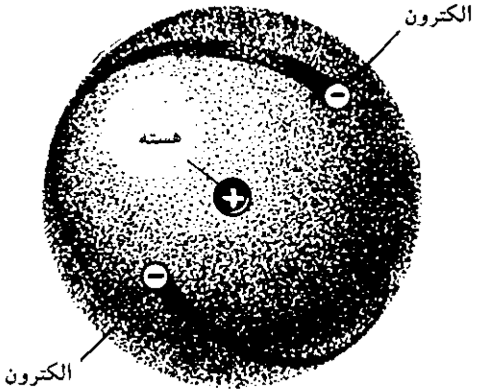


شکل ۷ـ۹ تصویری از دستگاه بکار برده شده در آزمایش راترفورد



شکل ۷ـ۱۰. انتشار ذرات آلفا در داخل اتم

مدل اتمی راترفورد شباهت به سیستم منظومهٔ شمسی دارد، به این معنی که یك هستهٔ مرکزی با بار الکتریکی مثبت تصور می شود که الکترونهای منفی در اطراف آن حرکت دورانی دارند. و چون اتم از لحاظ بار الکتریکی خنثی است پس باید بار هسته را از لحاظ قدر مطلق مساوی با قدر مطلق بار مجموع الکترونها باشد. هستهٔ اتم هیدروژن که تنها دارای یك بار مثبت است پروتون نام گرفت. این کلمه مشتق از کلمهٔ لاتین پروتو به معنای اولین است (در حقیقت پروتون در آن زمان کوچکترین ذرهٔ شناخته شده ای بود که دارای بار الکتریکی مثبت بود).



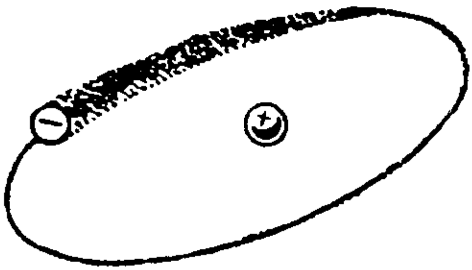
شکل ۷ـ۱۱ مدل اتمی راترفورد

«با آنکه مدل اتمی راترفورد در توجیه پدیده های پراکندگی موفق بود، ولی پرسش‌های دیگری را برانگیخت که پاسخ دادن به آنها از عهدهٔ این مدل بر نمی‌آمد. از آن جمله ترتیب قرار گرفتن الکترونها در اطراف هسته چگونه است؟ چه چیز مانع می‌شود که الکترونهای منفی در اثر نیروی جاذبهٔ الکتریکی روی هسته سقوط نکنند؟ هسته از چه تشکیل یافته است؟ چه چیز باعث می‌شود که با وجود نیروی دافعه بین بارهای مثبت، هسته متلاشی نشود؟» [۲۷]

اگر الکترونها ساکن باشند، به خاطر وجود نیروی جاذبه کولونی روی هسته می افتند. اگر الکترونها دور هسته بچرخند، برای ادامهٔ این حرکت چرخشی، لازم است که شتاب زیادی داشته باشند. اما بر طبق نظریهٔ تشعشعات الکترومغناطیسی، هر ذره بارداری که شتاب داشته باشد بایستی تشعشعات الکترومغناطیسی منتشر کند. حال آنکه در اتمها چنین تشعشعات پیوسته‌ای ساطع نمی‌شود. همچنین مشاهده شده است که وقتی اتمها تحریك می‌شوند، به جای منتشر کردن یك نوار پیوسته از رنگهای مختلف، فقط تعداد معینی ازرنگها را به صورت نوارهای ناپیوسته منتشر می‌کنند. در ضمن اتمهای هر عنصر نیز دارای طیف تشعشعی مخصوص خود هستند.

۲۷. فیزیك (سال چهارم آموزش متوسطه عمومی)، اثر دکتر ابوالقاسم قلمسیاه و...، انتشارات وزارت آموزش و پرورش، صفحه های ۱۷۲ و ۱۷۳

راترفورد خودش نیز به این مشکلات واقف بود، و می گفت نباید از مدلی که برای گشودن یك معما به کار رفته است، انتظار داشت معماهای دیگر را نیز بگشاید. به هر حال او قطر هسته را در حدود 10^{-12} سانتی متر و قطر اتم را تا 10^{-3} سانتی متر تخمین زد. و دو تن از دانشجویانش به نام‌های هانس گایکر (گیگر)[28] (۱۹۴۵ـ۱۸۸۲)، و مارسدن[29] بعدها معلوم داشتند که تعداد الکترونهایی که بر گرد هسته می چرخند، برابر است با عدد اتمی عنصر یا عدد خانهٔ عنصر مورد نظر در جدول مندلیف.



شکل ۷ـ۱۲ مدل اتمی راترفورد

28. Geiger 29. Marsden

فصل هشتم

تئوری کوانتومی پلانك

تا قرن نوزدهم می‌دانستند که هر قدر جسم گرمتر شود، درخشانتر نیز می گردد؛ و میزان تشعشع در هر ثانیه، با تغییر درجهٔ حرارت جسم تابش کننده به تندی دگرگون می شود. در ضمن می‌دانستند که رنگ تابش با درجهٔ حرارت جسم ارتباط دارد. و دیگر شکی نبود که چیزی را که حرارت می نامند، نتیجهٔ حرکت نامنظم مولکولهای بی شماری است که اجسام مادی راتشکیل می دهند.

فیزیکدانها در جستجوی جسم سیاه استانداردی بودند، که بتواند معیار اندازه گیری و استقرار قوانین تابش گرمایی واقع گردد، تا تشعشع بقیهٔ اجسام را از طریق مقایسه با آن ارزیابی نمایند. در ابتدا مخمل سیاه انتخاب شد، زیرا که مخمل سیاه قسمت عمدهٔ نوری را که به آن می‌رسد جذب می نماید. بنابراین بیشتر از سایر اجسام در اثر تابش گرم می شود.

«سرانجام فیزیکدانها بهترین جسم سیاه، یعنی جعبهٔ مخصوصی را که تمام تابشهای حرارتی را جذب می کند، طرح‌ریزی کردند. در داخل این جعبه، پره هایی پوشیده از دوده تعبیه گردیده، و پرتو نوری که از سوراخ آن وارد می گردد، دیگر خارج نخواهد شد.»[1]

در پی تحقیق در مورد جسم سیاه مطلق، قوانین تابشی چندی نیز کشف گردید؛ از جمله

۱. الفبای مکانیك کوانتا، اثر ویتالی رایدنیك، ترجمه مجتبی جعفرپور، انتشارات گوتنبرگ، صفحه ۳۲

قانون اول تابش که می گوید: ظرفیت تابشی جسم سیاه، یعنی میزان انرژی که به صورت نور و حرارت در یك ثانیه گسیل می دارد، با توان چهارم درجه حرارت مطلق آن متناسب است. این قانون را دو دانشمند آلمانی به نامهای **ژوزف استفان**[2] (۱۸۹۳_۱۸۵۳) و **لودویك بولتزمان**[3] (۱۹۰۶_۱۸۴۴) کشف کردند.

براساس قانون دوم تابش، اگر درجه حرارت جسم سیاه افزایش یابد، طول موج وابسته به ماکزیموم شدت روشنایی کاهش یافته و به سوی ناحیهٔ بنفش طیف میل می کند.

قانون مذکور را به افتخار فیزیکدان اتریشی **ویلهلم وین**[4] (۱۹۲۸_۱۸۶۴) قانون جابجایی وین نامگذاری نمودند. باید توجه داشت که قانون وین فقط از رنگ تابش وابسته به شدت ماکزیموم طیف صحبت می کند. وگرنه به طور معمول وقتی درجه حرارت افزایش می یابد، بیشتر نور سفید تابش می شود تا نور بنفش.

«مطابق این تئوری اگردمای یك جسم دوبرابر شود، تابش ماکزیموم انرژی تابشی، مربوط به طول موجی خواهد بود که نصف طول موج حالت اول است. به طور کلی این قانون به صورت $\lambda(\text{max}) \times T = C$ نشان داده می شود، که در آن T دمای مطلق جسم و $\lambda(\text{max})$ طول موج مربوط به تابش ماکزیموم انرژی و C مقدار ثابتی است که برابر با $۲/۸۹۷۰ \times ۱۰^{-۳}$(mk) می باشد.»[5]

دو دانشمند انگلیسی به نامهای **جان ویلیام استروت یا لردرایلی**[6] (۱۹۱۹_۱۸۴۲) و **سرجیمزجینز یا ژانس**[7] (۱۹۴۶_۱۸۷۷) با توجه به قوانین پیشین تابشی، به قانون کلی تری رسیدند. طبق این قانون، شدت نور صادره به وسیلهٔ یك جسم گرم، با درجه حرارت مطلق آن نسبت مستقیم، و با مربع طول موج منتشره نسبت عکس دارد. قانون اخیر، با نتایج تجربی توافق داشت. ولی ناگهان روشن گردید که توافق، فقط در ناحیه طول موجهای بلند طیف مرئی، یعنی سبز و زرد و قرمز برقرار است، و در ناحیهٔ آبی و بنفش نارسا می باشد.

از طرف دیگر با نزدیك شدن به ناحیه طول موجهای کوتاه، انرژی تابشی ظاهراً می بایستی

---

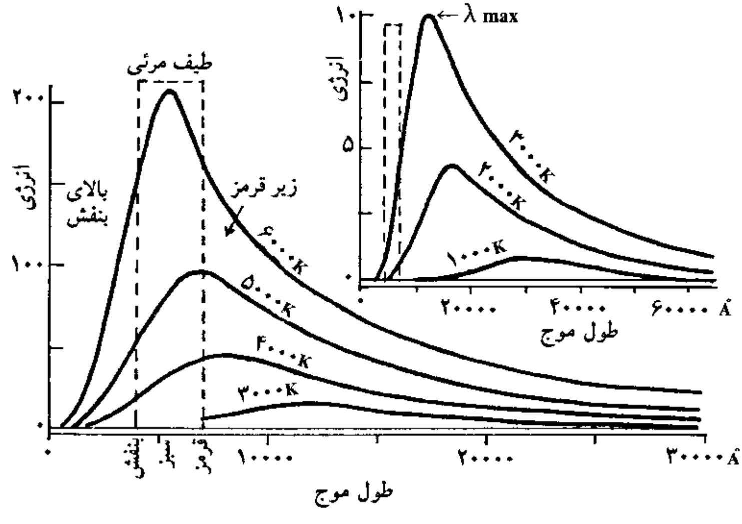
2. Josef Stefan 3. Boltzmann 4. Wien

۵. فیزیك (سال چهارم آموزش متوسطه عمومی)، اثر دکتر ابوالقاسم قلمسیاه و...، انتشارات وزارت آموزش و پرورش، صفحه ۲۲۷

6. Rayleigh 7. Jeans

به میزان نامحدودی افزایش می یافت. اما در عمل هرگز چنین اتفاقی نمی افتاد، و انرژی تابشی بدون حساب افزایش نمی یافت. و برعکس هنگامی که به امواج کوتاهتر بنفش و ماوراءبنفش نزدیك می شویم، انرژی حرارتی تشعشع به جای افزایش، کاهش می یابد.

«نتیجهٔ بررسیهای کلاسیك نشان می داد که اشعه ماوراءبنفش و اشعه با طول موجهای کوتاهتر از آن، آن قدر حامل انرژی زیادی اند و با چنان سرعتی در حرکتند که قاعدتاً عالم می بایستی پس ازمدتی، با از دست دادن تدریجی انرژی تا صفر مطلق سرد شود. از اینرو بنظر می رسید که عالم هستی با فاجعهٔ مرگبار ماوراءبنفش تهدید می شود.



شکل ۸ـ۱. توزیع انرژی منتشر شده از یك جسم جامد گرم در دماهای مختلف

دانش آن زمان از پاسخ به این پرسش هم عاجز مانده بود که چرا رنگ نور تشعشع شده تنها به درجه حرارت جسم بستگی دارد و به جسم تشعشع کننده و صادرکنندهٔ نور بستگی ندارد. به هر حال این مسئلهٔ شگفت انگیز که در تئوری تابش حرارتی، در اواخر قرن گذشته هویدا شد، فاجعهٔ ماوراءبنفش (ultra - violet catastrophel) نام گرفت. در آن موقع هیچ کس گمان نمی کرد که فاجعهٔ اخیر تنها برای یك قانون نبود، بلکه، فاجعه ای بود برای فیزیك کلاسیك.»[۸]

دوقانون پیرامون تابش حرارتی اجسام گرم وجود داشت، که هر یك به طور جداگانه

۸. سیری در تاریخ اتم، اثر کاظم عضوامینیان، انتشارات جیران، صفحه ۱۲۴

صحیح بودند، اما وقتی با هم ترکیب می‌شدند، فاجعهٔ ماوراءبنفش را موجب می‌گشتند. در همین راستا **ماکس پلانک**[۹] (۱۹۴۷ـ۱۸۵۸) دانشمند آلمانی نیز مانند همکارانش راه نجات را جستجو می‌کرد.

فیزیك کلاسیك در اواخر قرن نوزدهم، وجود مولکولها و فضای تهی بین آنها را کشف کرد، و نشان داد که مولکولها از یکدیگر جدا بوده و فقط خلاء مابین آنها پیوسته است. مولکولها نیز ازطریق خلاء مذکور به طریقی بر هم اثر می‌کردند. تا زمان فارادی کوشش به عمل می‌آمد که براساس مکانیك کلاسیك و باتصور یك ماده واسطه این اثر متقابل را توجیه کنند، تا ازطریق همین ماده اثر یاد شده منتقل گردد.

در مورد انرژی هم، فرض بر این بود که وقتی مولکولها با هم برخورد می‌کنند هرمیزان قابل تصور از آن را می‌توانند به یکدیگر منتقل نمایند. و درست همانند توپهای بیلیارد، یك مولکول متحرك به یك مولکول ساکن برخورد کرده و مقداری از انرژی خودرا از دست می‌دهد.

انرژی دیگری که در ظاهر ارتباطی با انرژی جنبش مولکولی نداشت، یعنی انرژی حرکت موجی نیز کشف گردید. ماکسول ثابت کرد که نور از پرتوهای الکترومغناطیسی تشکیل یافته و انرژی تابشی آن نیز باید ازقوانین کلی امواج پیروی نماید. بنابراین، این انرژی نیز پیوسته بوده و همراه موج در حرکت است. (برای مثال نور شمع با یك گسترش یکنواخت محیط اطراف خود را روشن می‌کند.)

بر فیزیکدانان معلوم بود که انرژی تشعشعات به موازات فرکانس آن افزایش می‌یابد؛ اما مسئله آنجا بود که چگونه افزایش می‌یابد. پلانك ساده‌ترین شکل آن را فرض نمود. به این شکل که انرژی تشعشعات (E) متناسب با فرکانس (ν) باشد یعنی: $E = h\nu$ (ضریب h، ثابت جهانی یا ثابت پلانك می‌باشد که برابر با $۶/۶۲۳ \times ۱۰^{-۳۴}$ ژول بر ثانیه است.)

پلانك باوجود عدم میل باطنی خود مجبور گردید تا پیشنهاد کند که انرژی همانند خود ماده ذره‌ای بوده، و به شکل ناپیوسته‌ای توزیع و انتقال می‌یابد. او ذره یا بستهٔ انرژی را کوانتای انرژی[۱۰] نام نهاد (کلمهٔ کوانتوم[۱۱] در زبان لاتین به مفهوم بخش، پیمانه و کمیت مجزا و منفصل آمده است. که کوانتا جمع آن است).

کشف بزرگ پلانك این بود که نشان داد، این ذرات کوانتا برای انواع مختلف تابش تفاوت می‌کند (همانند بزرگی و کوچکی اتمها) و هر اندازه طول موج وابسته کوچکتر باشد، ذرهٔ انرژی بزرگتر می‌شود(و برعکس)

9. Max Planck 10. Quanta 11. Quantum

کوچکی کوانتوم انرژی موجب می شود، نور شمع یا نور خورشید به شکل تابش یکنواختی به چشم بیایند. برای مثال تعداد ذرات انرژی یا کوانتومهایی که به وسیله یك لامپ الکتریکی (۲۵ وات در ثانیه) منتشر می گردد، برابر با $۶×۱۰^{۱۹}$ عدد می شود.

به طور خلاصه تئوری پلانك دارای دو اصل است:

«۱ـ هر نوسان کننده فقط می تواند انرژی های مجاز مشخصی را داشته باشد. که این انرژیهای مجاز مضارب درستی از مقدار($h\nu$) هستند یعنی: $E = nh\nu$ (n عدد درستی است).

۲ـ یك نوسان کننده فقط هنگامی تابش می کند که انرژی آن از یك مقدار مجاز به مقدار مجاز کوچکتر بعدی تغییر یابد و انرژی ΔE که نوسان کننده با کاهش ناگهانی دامنه نوسان خود را از دست می دهد به صورت تك موج یا پالس الکترومانیتیك با انرژی (hf) تابش می شود.»[۱۲] به هرحال در بررسی روند اکتشافات پلانك سه شاخه مشهود است:

۱ـ تحقیقات استفان، بولتزمان، وین، رایلی، وجینز در مورد رابطهٔ گرما و تابش، که در نهایت به فاجعهٔ ماوراءبنفش مواجه گشت. در این بن بست بود که پلانك درسال ۱۹۰۰ رابطهٔ کوانتوم انرژی با طول موج تشعشع راکشف کرد.

۲ـ تحقیقات نیوتن، هویگنس، لومونوسف، فرنل، یانگ و ماکسول در مورد ذره ای بودن یا موجی بودن نور، که سرانجام آلبرت آینشتاین درسال ۱۹۰۵ با استفاده از تئوری کوانتومی پلانك، پدیدهٔ فوتوالکتریك[۱۳] را توضیح داده و دلیل تازه ای در مورد ذره ای بودن نور به جهان دانش عرضه نمود. (ر. ك. فصل نهم)

۳ـ بدنبال ارائهٔ مدلهای اتمی تامسون و راترفورد از یك طرف و پیشرفت طیف شناسی از طرف دیگر، سرانجام در سال ۱۹۱۳ نیلزبور با استفاده از تئوری پلانك مدل اتمی نوینی را پیشنهاد نمود. (ر. ك. فصل دهم)

«پلانك روزی در بارهٔ اکتشافات خود چنین اظهار داشت: یك نفر معدنچی را تصور کنید که سالها سینهٔ زمینی را در جستجوی مادهٔ معدنی معینی شکافته باشد، اما شبی با رگه ای از طلا برخورد می کند که اصلاً وجود آن را هم حدس نمی زد. قدر مسلم آن است که اگر او هم با این

۱۲. فیزیك (سال چهارم آموزش متوسطه عمومی)، اثر دکتر ابوالقاسم قلمسیاه و...، انتشارات وزارت آموزش و پرورش، صفحه ۲۲۹

13. The Photo - Electric Effect

رگه برخورد نمی‌کرد، حتماً کس دیگری آن را می‌یافت.»[۱۴]

۱۴. تاریخ علوم، اثر پی‌یر روسو، ترجمه حسن صفاری، انتشارات امیرکبیر، صفحه ۸۰۶

فصل نهم

امواج

نیوتن نور را شامل مجموعه‌ای از ذرات بی‌وزن منفصل تصور می‌کرد که از منبع نورانی خارج و صادر می‌شوند. «او پدیده‌های انتشار خطی نور، انعکاس نور در برخورد با یك سطح شفاف، شکست نور در مرز میان دو محیط مادی و جذب نور را مطابق فرضیهٔ ذره‌ای بودن نور توضیح می‌داد.»[۱] و این در حالی بود که تئوری موجی نور ابتدا در سال ۱۶۶۵ به وسیلهٔ **رابرت هوك**[۲] (۱۷۰۳ـ۱۶۳۵) فیزیکدان انگلیسی مطرح شد. و چند سال بعد نیز توسط **کریستیان هویگنس**[۳] (۱۶۹۵ـ۱۶۲۹) فیزیکدان و اخترشناس هلندی به صورت کاملتری بیان گردید. برطبق این تئوری، نور مانند صوت، به صورت امواج کروی منتشر می‌شود. در نتیجه، هویگنس برای حل مسئلهٔ چگونگی تابش نور در خلاء بر این باور شد که همهٔ اجسام و اجرام در یك جوهر فرضی به نام اتر[۴] غوطه‌ورند. (یعنی خلایی دیگر وجود نداشته و تابش نور، نتیجهٔ ضربان و ایجاد موج در اتر فرض می‌شود.)

تئوریهای ذره‌ای و موجی نور هرکدام برای خود پیروانی داشتند؛ و از همان ابتدا مجادله بین آنان آغاز گردید، که برای مدت یك صد سال ادامه یافت. در اوایل قرن نوزدهم، آزمایشهای **اوگوستین فرنل** فرانسوی[5] (۱۸۲۷ـ۱۷۸۸) و **توماس یانگ** انگلیسی[۶] (۱۸۲۹ـ۱۷۷۳)

---

۱. امواج، اثر کاظم عضوامینیان، انتشارات جیران، صفحه ۲۱

2. Robert Hooke 3. Huygens 4. Ether 5. Fresnel 6. Young

نتایجی را به بار آورد که پیروزی تئوری موجی را اثبات می‌کرد.

پدیده‌های تداخل[7] (خاصیت جمع موج‌ها)، پراش[8] (خاصیت دور زدن موانع) و قطبی شدن[9] باتئوری موجی تطابق داشتند، در صورتی که بر اساس تئوری ذره‌ای توجیه نمی‌شدند. **ماکسول** نیز ثابت کرد که نور از امواج الکترومغناطیسی تشکیل شده است. ولی پنجاه سال بعد تئوری ذره‌ای نور دوباره زنده گردید.

«در سال ۱۹۰۲ می‌دانستند که یك سطح فلزی صیقلی تحت تأثیر نور، الکترون تولید می‌کند (سلول فوتوالکتریك)، اما تئوری موجی نور به طورکلی قادر به توجیه این پدیده نبود.

در پدیده فوتوالکتریك باید به موارد زیر توجه داشت:

۱ـ برای منتشر شدن تعدادی الکترون تحت تأثیر نور، فرکانس نور باید از یك مقدار حداقل بیشتر باشد.

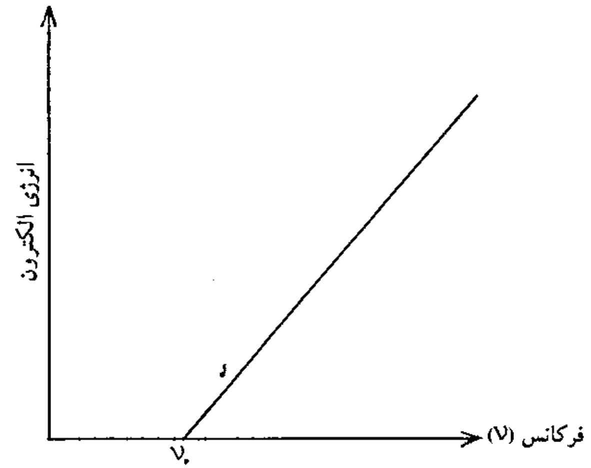
۲ـ انرژی جنبشی الکترونها با افزایش فرکانس نور افزایش می‌یابد.

۳ـ شدت نور تغییری در انرژی جنبشی الکترونها نمی‌دهد، بلکه تعداد آنها را زیاد می‌کند.

اما تئوری موجی نور نه می‌توانست تغییرات انرژی جنبشی الکترونها را بر حسب فرکانس، و نه وجود فرکانس آغاز یا فرکانس بحرانی را جواب دهد، و بعلاوه تئوری موجی پیش‌بینی می‌کرد که انرژی جنبشی الکترونها باید با اضافه شدن شدت نور اضافه شود، و حال آنکه این موضوع با عمل مغایرت داشت.

درسال ۱۹۰۵ **آینشتاین** گفت: اگر قبول کنیم که نور از ذراتی مشخص به نام فوتون تشکیل شده است. می‌توان عمل فوتوالکتریك را توجیه کرد. به این صورت که یك فوتون به فرکانس ν و به انرژی $h\nu$ مقداری از انرژی خود را به یك الکترون می‌دهد. یك مقدار از این انرژی به اندازهٔ اپسیلن ε صرف شکستن نیروی پیوند الکترون فلزمی‌شود. و الکترون جابجا شده، بقیه انرژی فوتون را به صورت انرژی جنبشی با خود می‌برد یعنی: $h\nu = \varepsilon + \frac{1}{2}mv^2$ بنابراین اپسیلن کمترین مقدار انرژی است که فوتون بایستی داشته باشد، تاالکترون را از اتم فلز جدانماید. اگر اپسیلن را برحسب فرکانسش بنویسیم خواهیم داشت: $h\nu = h\nu_0 + \frac{1}{2}mv^2$

7. Interferance 8. Diffraction 9. Polarization



شکل ۹ـ۱. افزایش انرژی الکترونها بر حسب نمو فرکانس نور

منحنی نشان می‌دهد که نمودار تغییرات انرژی الکترون برحسب فرکانسش خط مستقیمی است که شیبش برابر است با ثابت پلانك یعنی: « $\frac{1}{2}mv^2 = h\nu - h\nu_0 = h(\nu - \nu_0)$ »[10]

آینشتاین فرض کرد که نور یکنواخت مرکب از کوانتومهای انرژی است که آنها را فوتون[11] نامیدند. او ثابت کرد که نور نه تنها طبق فرضیهٔ پلانك به صورت کوانتوم تابیده می‌شود، بلکه به صورت کوانتوم نیز انتشار می‌یابد. به همین دلیل نور تابیده شده بر سطح فلز همانند برخورد امواج دریا به صخره‌های ساحلی نیست بلکه نظیر شلیك گلولهٔ توپ به صخره‌های ساحلی است. زیرا اگرچه انرژی کلی امواج دریا به مراتب بیشتر از انرژی یك گلوله توپ است که بر صخره‌ها اصابت می‌کند، ولی چون این انرژی به طور مساوی بر تمام صخره تقسیم می‌شود، در نتیجه قرنها لازم است تا نتیجه تخریب روزانهٔ آن را مشاهده کنیم. در حالی که نتیجهٔ اصابت یك گلوله شلیك شده به طرف صخره را به سرعت مشاهده می‌کنیم. در ضمن آنکه هریك از چنین گلوله‌های کوانتومی فقط می‌تواند یك الکترون را از اتم خارج نماید.

۱۰. اصول شیمی نوین، اثر علی افضل صمدی، انتشارات دانشگاه مشهد، صفحه‌های ۴۶ و ۴۷ و ۴۸

11. Photon (در زبان یونانی Photos به معنای نور است)

در واقع تا وقتی کوانتوم انرژی کوچك است (نور قرمز)، کوانتومها هرقدر هم تعدادشان زیاد باشد قادر نیستند الکترونی را از اتم جدا سازند $h\nu < h\nu_i$. اما وقتی انرژی آنها افزایش می‌یابد (نور بنفش) موقعی می‌رسد که این انرژی برای برکندن الکترون کافی می‌شود $h\nu > h\nu_i$. و بدین ترتیب بود که آینشتاین نشان داد که نور نه تنها به صورت کوانتا جذب و انتشار می‌شود بلکه نور مستقل از این دو پدیده، خود نیز از کوانتا تشکیل شده است. وجود اتمها (سازندهٔ عناصر)، الکترونها (سازندهٔ الکتریسیته)، کوانتوم (سازندهٔ انرژی) و فوتونها (سازندهٔ نور)، فصلی جدید را در بینش فلسفی بشر به جای نهاد، و آن وجود انفصالهایی بود در جهان به ظاهر یکپارچه و بسیط.

با وجود این، هنوز این حقایق نسبی‌اند. برای مثال در چشم‌انداز فیزیك معاصر «نمودهای نوری را به سه قسمت تقسیم می‌کنند:

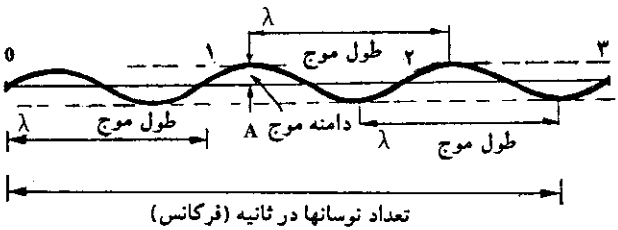
۱ـ نمودهایی مانند کیفیت فوتوالکتریك که فقط با تئوری کوانتومی تفسیر پذیرند.

۲ـ نمودهایی مانند خم شدن نور در اطراف موانع (پراش) که با نظریهٔ موجی توضیح داده می‌شوند.

۳ـ نمودهایی مانند انتشار مستقیم‌الخط که هم با نظریهٔ موجی و هم با نظریهٔ کوانتومی قابل توجیه می‌باشند.»[۱۲]

با توجه به این مطالب است که در کل نور را به شکل موج ـ ذره در نظر می‌گیرند، که بنا به شرایط آزمایش گاهی خصلت موجی و گاهی خصلت ذره‌ای خود را نمایان می‌سازد.

هر موجی دارای دامنهٔ A، طول موج λ ، فرکانس (تعداد طول موجها در یك ثانیه) F ، و سرعت V است. اگر سرعت نور را با C نمایش بدهیم، رابطهٔ فرکانس و طول موج امواج الکترومغناطیسی $\lambda = \frac{C}{F}$ می‌شود. (در حالت کلی $\lambda=\frac{V}{F}$)



شکل ۹ـ۲. «انتشار موج مسطح سینوسی در جهت محور OX»

۱۲. تکامل علم فیزیك، اثر آلبرت آینشتاین و...، ترجمه احمد آرام، انتشارات پرتو، صفحه ۲۴۸

برروی محور فرکانس امواج برحسب هرتزHz، بسیاری از نمودهای طبیعت دیده می‌شوند. برای مثال:

۱ـ ازصفر تا ۲۰ هرتز: امواجی نظیر امواج زلزله جای دارند.

۲ـ از ۲۰ تا ۲۰ کیلو هرتز: امواج صوتی یا شنیدنیها (AF)

۳ـ از ۲۰ کیلو تا ۳۰ کیلو هرتز: امواج مافوق صوت یا اولتراسونیك (US)

۴ـ از ۳۰ کیلو تا ۳۰ مگا هرتز: امواج بی‌سیم و رادیو (SW, MF, LF)

۵ـ از ۳۰ مگاتا ۳۰۰ مگاهرتز: امواج با فرکانس زیاد (VHF) شامل امواج تلویزیونی، موج FM و...

۶ـ از ۳۰۰ مگاتا ۳ گیگا هرتز : امواج با فرکانس خیلی زیاد یا UHF که شامل امواجی نظیر امواج تلویزیونی و مخابراتی می‌باشد.

۷ـ از ۳ گیگا تا ۳۰ گیگا هرتز: امواج فرکانس بالا یا SHF که شامل امواجی نظیر امواج ماکروویو، رله و رادار می‌باشد.

۸ـ از ۳۰ گیگا تا ۳۰۰ گیگا هرتز: امواج فرکانس خیلی بالا یا EHF که شامل امواجی نظیر امواج مربوط به موشکهای هدایت شونده، رادار و کنترل ماهواره‌ها و سفینه‌ها می‌باشد.

۹ـ از ۳۰۰ گیگا تا ۳ تراهرتز: شامل امواج گرمایی

۱۰ـ از ۳ ترا تا ۳۰۰ تراهرتز: امواج مادون قرمز

۱۱ـ از ۳۰۰ ترا تا ۳۰۰۰۰ ترا هرتز: شامل امواج نوری یا دیدنیها است، که به ترتیب فرکانس موجی عبارتند از: رنگهای مادون قرمز، قرمز، نارنجی، زرد، سبز، آبی، نیلی و بنفش. در این باند کسانی چون نیوتن، هویگنس، ماکسول، فرنل، مایکلسون و آینشتاین تحقیقاتی انجام داده‌اند.

۱۲ـ از ۳۰۰۰۰ ترا تا سه میلیون تراهرتز: امواجی نظیر اشعهٔ ماوراءبنفش جای دارد، که پژوهشهای رایلی، جینز، وین، بولتزمان و پلانك در این باند جای می‌گیرد.

۱۳ـ از ۳×۱۰^{۶} تا ۳×۱۰^{۱۰} تراهرتز: امواجی نظیر اشعه ایکس یا اشعهٔ رونتگن جای می‌گیرد.

«تمام شدن اشعه ایکس و انرژی حرارتی در ستارگان که از عوامل انبساط آنهایند، سبب برتری نیروی گرایشی یا عامل انقباضی ستاره می‌گردد. این پدیده به نام

ریزش[۱۳] معروف است. به دنبال پدیدهٔ ریزش، ستاره ها نوترونی می شوند.»[۱۴] یعنی از ترکیب الکترونها و پروتونهایشان، نوترونها بوجود می آیند. وستاره آن قدرفشرده می شودکه حتی نورنیز نمی تواند ازمیدان جاذبهٔ بسیار قوی آن بگریزد. در این صورت ستاره نوترونی به حفرهٔ سیاه[۱۵] تبدیل می شود.

۱۴ـ بعد از اشعهٔ ایکس به اشعه گاما می رسیم. با توجه به فرمول پلانك یعنی $E = h \cdot \nu$ چون فرکانس اشعه گاما بسیار زیاد است، در نتیجه این اشعه دارای انرژی و قابلیت نفوذ بسیار زیاد می باشد.

۱۵ـ بعد از اشعه گاما به اشعه نوترونی می‌رسیم که ثمرهٔ اکتشافات بکر[۱۶]، بوت[۱۷] (فیزیکدانان آلمانی) ایرن کوری، ژولیووچادویك است.(ر. ك فصل هجدهم)

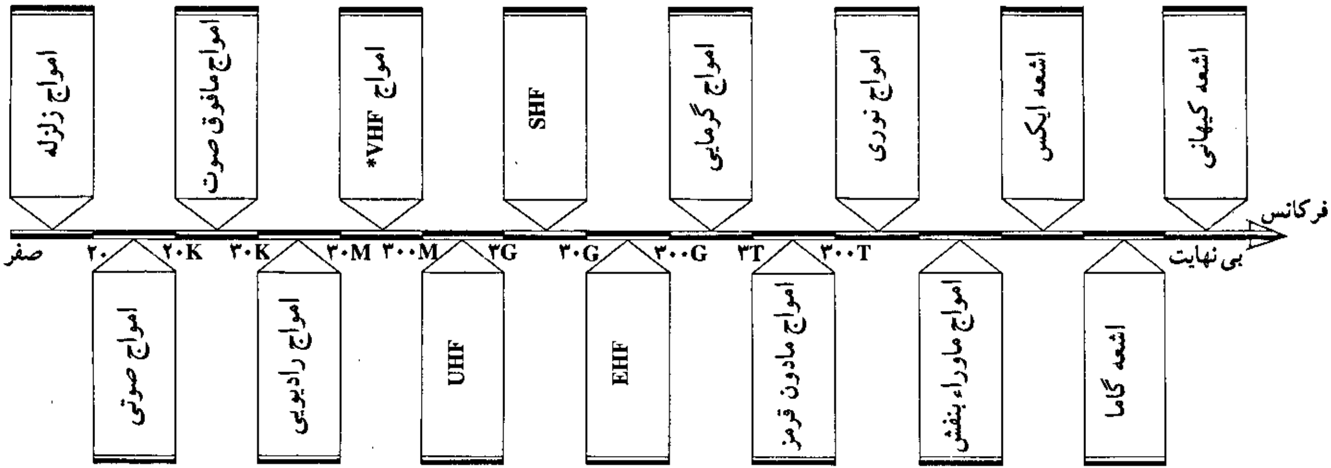
به هر حال مطابق تئوری انفجار بزرگ[۱۸]، اجرام پراکندهٔ جهان در زمانی دور به صورت يك جرم واحد بسیار فشرده بوده اند که از درون منفجر می گردد. پس از این انفجار است که کهکشانها و منظومه‌ها و ستارگان یکی پس از دیگری شکل می گیرند. (ر. ك فصل بیست و چهارم)

عده ای از فیزیکدانان و ستاره شناسان بر این نظرند که پس از حادثهٔ انفجار بزرگ، از يك طرف ماده و اجزایش یعنی اتمها، و از طرف دیگر میدان یا امواج، این جهان رنگارنگ را به این شکل درآورده اند.

13. Collapic

۱۴. امواج، اثر کاظم عضوامینیان، انتشارات جیران، صفحه ۲۶

15. Black Hole 16. Becker 17. Bothe 18. Big Bang



شکل ۹ـ۳. طیف فرکانس پدیده‌های موجی طبیعت (برحسب سیکل برثانیه یا هرتز)

* ناحیه امواج VHF شامل سه باند می‌باشد که در باندهای ۱ و ۳ کانالهای تلویزیونی قرار دارند.

فصل دهم

تئوری اتمی بور

نیلزبور[1] (۱۹۶۲ـ۱۸۸۵) فیزیکدان دانمارکی که از شاگردان تامسون و راترفورد بود در سال ۱۹۱۳ با استفاده از:

۱ـ مدل اتمی راترفورد

۲ـ تئوری کوانتایی پلانك

۳ـ خطوط منفصل طیف عناصر و اکتشافات بالمر[2] و ریدبرگ[3] در این زمینه، مدل اتمی خود را طراحی و پیشنهاد نمود.

پس از اکتشافات کیرشهف و بونزن در زمینهٔ طیف نگاری، فیزیکدانان برروی خطوط طیفی عناصر، بررسی‌ها و تحقیقات بسیاری را انجام دادند. ده‌ها هزار خطوط طیفی، عناصر گوناگون را به دقت اندازه گیری کرده و با نظم و ترتیب خاصی در جدول بلند بالایی مرتب نموده بودند. تا اینکه «سرانجام یوهان یاکوب بالمر آلمانی (۱۸۹۸ـ۱۸۲۵) برای اولین مرتبه سیستمی در هرج و مرج این اعداد پیدا کرد. او در شصت سالگی متوجه شد که چهار خط طیفی در قسمت مریی طیف هیدروژن نامنظم قرار نگرفته‌اند، بلکه سلسله‌ای را تشکیل می‌دهند که می‌توان به صورت یگانه فرمول زیر نوشت:

1. Niels Bohr 2. Johan Jakob Balmer 3. Johannes Rydberg

$\lambda = b\dfrac{K^2}{K^2 - n^2}$ که در آن ۲=n و ۶و ۵ و ۴ و ۳ = K و b=۳۶۴۵/۶A° می باشد»[۴]

در حقیقت تئوری اتمی نوین با این فرمول بالمر شروع شد؛ بالمری که از دوران جوانی تحت تأثیر فلسفهٔ فیثاغورس بود. در همین راستا در سال ۱۸۹۰ فیزیکدان سوئدی یوهان رابرت ریدبرگ (۱۹۱۹ـ۱۸۵۴) پیشنهاد کرد فرمول بالمر را به صورت دیگری بنویسند، که تا امروز شکل خود را حفظ کرده است. $V = CR\left(\dfrac{1}{n^2} - \dfrac{1}{k^2}\right)$

در اینجا c سرعت نور، و R برابر با $109677/5937\,cm^{-1}$ می باشد. R را ثابت ریدبرگ برای اتم هیدروژن می نامند.

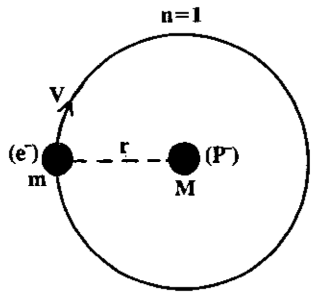
در حقیقت کوشش برای درك ساختمان طیف، همان تلاش کورکورانه برای کشف رمز متنی ناآشنا را به یاد می‌آورد. این کار طاقت فرسا بیش از یك ربع قرن به طول کشید. و سرانجام این نیلز بور بود که کلید رمز راکشف کرد.

دیدیم که مکانیك کلاسیك از حل تناقضات تئوری اتمی راترفورد عاجز مانده بود. و الکترون چرخنده به دور هستهٔ مثبت اتم، می‌بایستی خیلی سریع پس از انتشار پرتوهایی به داخل هسته سقوط کند.

بور کار خود را از اتم ساده هیدروژن (که دارای یك الکترون و یك پروتون است) شروع کرد. اصول بور در این مورد به این شرح است:

اصل اول: در اتم هیدروژن، الکترون با جرم m، فاصلهٔ r از پروتون، و سرعت V، در مسیری دایره شکل به دور پروتون می‌چرخد. چون الکترون نه از اتم خارج می‌شود و نه به داخل هسته سقوط می کند، پس دو نیروی گریز از مرکز و نیروی جذب به مرکز با هم برابرند.

یعنی: $m\dfrac{V^2}{r} = \dfrac{e^2}{r^2}$ یا $r = \dfrac{e^2}{mV^2}$



شکل ۱۰ـ۱. اتم هیدروژن

۴. در آنسوی کوانت، اثر ل. پانوماریف، ترجمه هوشنگ طغرایی، انتشارات میر، صفحه‌های ۷۳ و ۷۴

در نتیجه مطابق اصل اول بور: مدارهایی در اتم وجود دارد که الکترون بر آنها می چرخد بدون آنکه تشعشع کند.

اصل دوم: در حرکت دورانی عامل گشتاور مداری یعنی (L) به جرم (m)، شعاع مدار (r) و سرعت دوران (V) بستگی داردیعنی: $L = mvr$ که برای قمرهای مصنوعی این مقادیر متفاوت است. بور ثابت کرد که فرق الکترون در اتم با قمر مصنوعی یا ماهواره در آن است که گشتاور مداری (L) آن نمی تواند انتخابی و دلخواه باشد. بلکه معادل مضرب صحیحی از مقدار $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ است.یعنی: $mvr = n\hbar$

و به این ترتیب، بور مدارهای ثابت و مشخصی را در اتم، از میان انبوه مدارهای متصوره متمایز می سازد. در مقام تشبیه می توان گفت همان طوری که برای دنده های اتومبیل حالت حد وسط وجود ندارد، یعنی بین دندهٔ یك و دندهٔ دو نمی توان دندهٔ دیگری را در نظر گرفت، مدارهای اتم نیز بر همین منوال هستند.

اصل سوم: از دو شرط قبلی بور براحتی مقادیر انرژی (E_n) و شعاع (r_n)مدار ثابت بدست می آید.یعنی: $r_n = \frac{n^2\hbar^2}{me^2}$ و $E_n = \frac{me^4}{2\hbar^2 n^2}$ مدارهای ثابت (n) یا سطوح انرژی اتم را عدد اصلی کوانتومی[5] نام نهاده اند. که با اعداد صحیح یعنی ۱ و ۲ و ۳و.... و یا با حروف K و L و m و.... نمایش می‌دهند. الکترونها هنگام عبور از سطح n به سطح K(اگر nمداری بالاتر از K باشد) مقداری انرژی برابر با$\Delta E = E_n - E_k$تشعشع می کنند که فرکانس تشعشعی آن با استفاده از فرمول آینشتاین تعیین می شود. یعنی:

$$\nu = \frac{\Delta E}{h} = \frac{E_n - E_k}{2\pi\hbar}$$

طبق اصل سوم بور وقتی الکترون روی مدار ثابتی حرکت می کند نمی تواند نور تابش کند و تابش نور فقط دراثر پرش الکترون از یك مدار به مدار دیگر امکان‌پذیر است. بور معتقد بود که فرکانس نور تابش شده ارتباطی به فرکانس حرکت دورانی الکترون ندارد، و فقط مربوط به اختلاف انرژی بین مدار ابتدایی و مدار انتهایی است. یعنی:

$$\nu = \frac{me^4}{4\pi\hbar^3}\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2}\right)$$

(بدیهی است که ΔE همان مقدار انرژی است که می بایستی به الکترون داد تا از مدار K به مدار n پرش کند.)

5. The Principal Quantum Number

نخستین موفقیت تئوری بور محاسبهٔ شعاع اتم هیدروژن بود. یعنی در حالتی که اتم تحریك نشده و اتم از یك مدار الکترونی تشکیل شده است (n= ۱) در این صورت شعاع اتم برابر می شود با:

$$r_1 = \frac{h^2}{me^2} = ۰/۵۳\times۱۰^{-۸} \quad Cm = ۰/۵۳\ \mathring{A}$$

این بدان معناست که ابعاد اتم محاسبه شده از روی فرمول بور (۱۰$^{-۸}$cm) با آنچه نظریه سینتیك گازها پیش‌بینی کرده بود، تطبیق می کند. و سرانجام نظریهٔ بور تشریح می کند که چگونه خواص طیف خطی به ساختمان درونی اتم مربوط است. و این ارتباط به وسیلهٔ همان ثابت پلانك (h) جامهٔ عمل می پوشد. این دیگر غیرمنتظره بود؛ ثابت کوانتومی h که در نظریهٔ تشعشعات دمایی ظهور کرده بود، هرگز احتمال نمی‌رفت که با اتمها و اشعهٔ پخش شده از اتمها رابطه داشته باشد. و از همین جا بود که مکانیك کوانتومی به وسیلهٔ تئوری بور جانشین مکانیك کلاسیك گردید.

بور با خود اندیشیده بود که اگر حرکت الکترونهای اتم و نور نشر شده، هر دو، کوانتومی باشند، پس انتقال یك الکترون از سطح کوانتوم بیشتر به سطح کوانتوم کمتر در یك اتم باید همراه باشد با نشر کوانتوم نوری که در آن hν برابر است با اختلاف انرژی میان دو سطح. به عبارت دیگر مقدار انرژی کوانتومی که به الکترون می‌دهیم تا به مدار بالاتری برود، الکترون، همان انرژی را هنگام بازگشت به مدار سابقش از خود تشعشع می نماید. انگیزهٔ بازگشت الکترون به مدار سابقش نیز به دلیل وجود نیروی جاذبهٔ هستهٔ اتم می باشد.

با توجه به روابط زیر:

۱ـ انتقال الکترون از مدارهای دیگر به مدار اول = ایجاد خطوط سری‌های لیمان[۶] در طیف

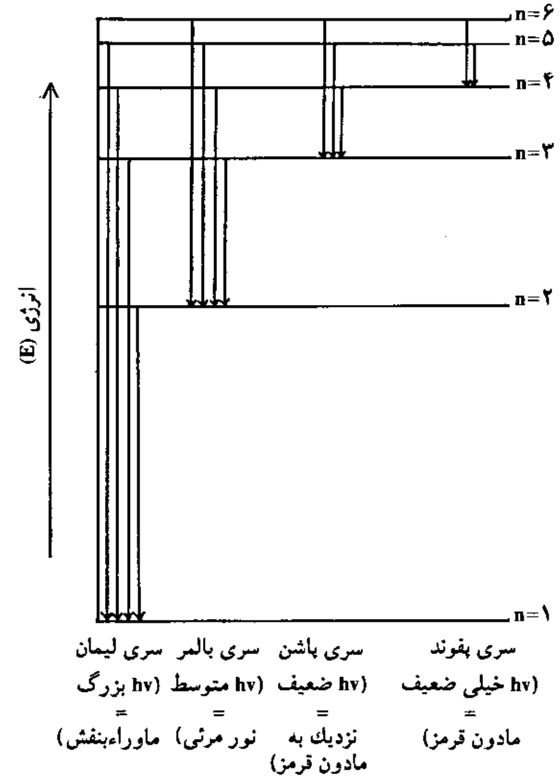
۲ـ انتقال الکترون از دیگر مدارها به مدار دوم = ایجاد خطوط سرهای بالمر[۷] در طیف

۳ـ انتقال الکترون از دیگر مدارها به مدار سوم = ایجاد خطوط سری‌های پاشن[۸] در طیف

۴ـ انتقال الکترون از دیگر مدارها به مدار چهارم = ایجاد خطوط سری‌های پفوند[۹] در طیف

---

6. Lyman 7. Balmer 8. Pashen 9. Pfund



شکل ۱۰ـ۲. انتقال الکترون اتم هیدروژن از ترازهای بالا به ترازهای پایین

بور نشان داد که طیف، بیوگرافی اتم، و در واقع بیوگرافی الکترونهاست. اگر درجهٔ حرارت عناصر را افزایش دهیم، الکترون، زمان بسیار کمی در مدارهای داخلی می‌ماند، و اتم در حالت تحریك قرار می‌گیرد. درچنین شرایطی، در هر ثانیه میلیونها فوتون صادر می‌شود و با افزایش درجه حرارت، مقدار آنها تصاعدی افزایش می‌یابد (قانون استفان ـ بولتزمان).

البته نه تنها تعداد فوتونها در حال افزایش است، بلکه فاصلهٔ پرش الکترونها نیز بیشتر می‌شود. پرشهای کوتاه اولیه، جای خویش را به پرشهای بزرگتر داده و وقتی الکترونها مدارهای اخیر را ترك می‌کنند، فوتونهای شدیدتری تولید می‌گردد. هراندازه انرژی فوتون بیشتر باشد فرکانس آن بالاتر و طول موجش کوتاهتر می‌شود و در این صورت نور تابشی متمایل به ناحیه بنفش خواهد بود (قانون وین).

نارساییهای مدل اتمی بور

«فیزیك کلاسیك می توانست درخشندگی خطوط طیف را محاسبه کند، ولی نمی توانست دلیلی برای منشأ آن بیابد. تئوری بور قادر بود که منشأ خطوط طیف را تشریح کند، ولی نمی توانست شدت خطوط طیف را بدست دهد. از اینرو بور نتیجه گرفت که دو تئوری را در مناطقی که کم و بیش با هم موافقند، یعنی در ناحیه طول موج بلند، باید با هم به کار برد»[۱۰] که این بیان به اصل «تطابق بور»[۱۱] معروف شده است.

«اصل تطابق که نخستین بار درسال ۱۹۱۶ از سوی بور مطرح شده است، هدفش ایجاد پلی میان پدیده های گسسته میکروفیزیك (مانند فروپاشی) که از سوی فیزیك کوانتومی بیان شده است از یك طرف، و پدیده های در ظاهر پیوسته در سطح ماکروسکوپیك (مانند احتراق) از طرف دیگر است که فیزیك کلاسیك بخوبی از عهدهٔ تفسیر وتوضیح آنها برآمده است.

آشکارا این بدان معناست که اگر به محدودهٔ پدیده هایی که در سطح قابل رؤیت انسان (یعنی پدیده های ماکروسکوپیك) هستند قناعت کنیم، فیزیك کلاسیك همچنان یك وسیلهٔ بررسی مناسبی به شمار می آید؛ حال آنکه اگر بخواهیم به درون اتمها راه یابیم، آنگاه باید به اجبار دیدگاه خود را تغییر دهیم و عینك کوانتومی به چشم گذاریم.»[۱۲]

اما ویلیام براگ[۱۳] (۱۹۴۲ـ۱۸۶۲)، دانشمند انگلیسی در پی اعتراض به اصل تطابق بور اعلام می کند که: «اصل تطابق بور مانند آن است که در روزهای زوج هفته، مذهب کلاسیك، و در روزهای فرد هفته مذهب کوانتیك راتبلیغ کنیم. در این صورت دانش به دو خدا معتقد می شود، که این خود دلیلی است بر نارسایی تئوری بور.»

«تئوری بور برای طیف هیدروژن و طیف اتمهایی که آخرین لایه آنها تك الکترونی است بسیار موفق بود، اما در مورد اتمهایی که در آخرین لایهٔ الکترونی خود، دو یا بیش از دو الکترون دارند، میان تئوری و آزمایش آنها اختلاف دیده می شد. آزمایش همچنین نشان می دهد که وقتی نمونه ای از یك عنصر در میدان الکتریکی و یا میدان مغناطیسی قرار می گیرد، در طیف خطی آن

---

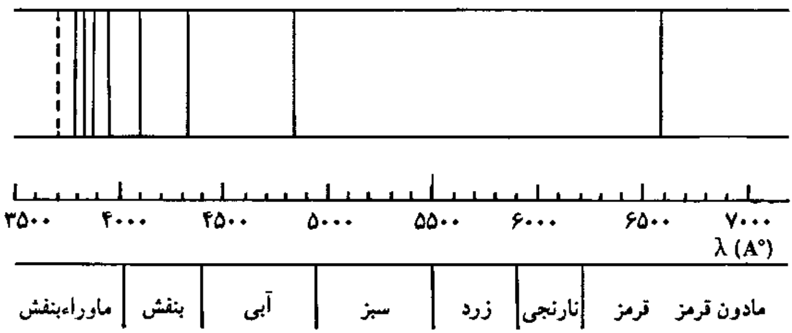
۱۰. الفبای مکانیك کوانتا، اثر ویتالی رایدنیك، ترجمه مجتبی جعفرپور، انتشارات گوتنبرگ، صفحه های ۵۸ و ۵۹

11. Correspondence

۱۲. مجله دانشمند، ویژه نامهٔ فیزیك، خرداد ۶۵، صفحه های ۶۰ و ۶۱

13. Brag

خطوط اضافی پیدا می‌شود. برای مثال در یك میدان مغناطیسی، هرخط معمولی طیف به چند خط باریکتر تجزیه می‌گردد. ولی تئوری بور نمی‌تواند به طور کمی علت این تجزیه را توجیه کند.»[۱۴]



شکل ۱۰ـ۳. «طیف هیدروژن»

خطوط در طیف، نوارهای تشعشع اتم هیدروژن است، وقتی الکترون از مدار n=۲ به مدارهای ۳ و ۴ و ۵ نقل مکان می‌کند.

---

۱۴. فیزیك (سال چهارم آموزش متوسطه عمومی)، اثر دکتر ابوالقاسم قلمسیاه و...، انتشارات وزارت آموزش و پرورش، صفحه ۱۷۷

فصل یازدهم

تکامل تئوری بور

آرنولد یوهان ویلهلم زمرفلد[1] (۱۹۵۱ـ۱۸۶۸)، یکی از استادان آلمانی در پی اطلاع از مدل اتمی بور و مدارهای دایروی متحدالمرکز او با خود گفت: اگر اتم شبیه به منظومهٔ شمسی است، پس الکترونها در چنین سیستمی نه تنها در مدارهای دایره شکل، بلکه باید در مدارهای بیضی شکل نیز در حال چرخش باشند.

چون در روی یك مدار بیضی شکل، سرعت الکترون نمی‌تواند ثابت باشد، باعث تغییرات انرژی جنبشی می گردد، که این تغییرات نیز می بایستی کوانتیکی باشند. در نتیجه، برای الکترون تنها بعضی ازمدارهای بیضی شکل مجاز می گردند. و به این ترتیب دومین عدد کوانتایی بوجود می‌آید که گشتاور زاویه‌ای[2] (L) نام دارد.

این عدد در حقیقت ضریب بیضی بودن مدار را تعیین می کند. به این معنی که با مفروض بودن (n)، پهنای مدارات بیضی آن چنان خواهد بود که عدد مداری کوانتومی (L) بتواند اعداد صحیح از صفر تا (۱ـn) را بپذیرد، برای مثال اگر n=۳ باشد، مدار اتم دارای (L)های ۰، ۱و ۲ می شود.

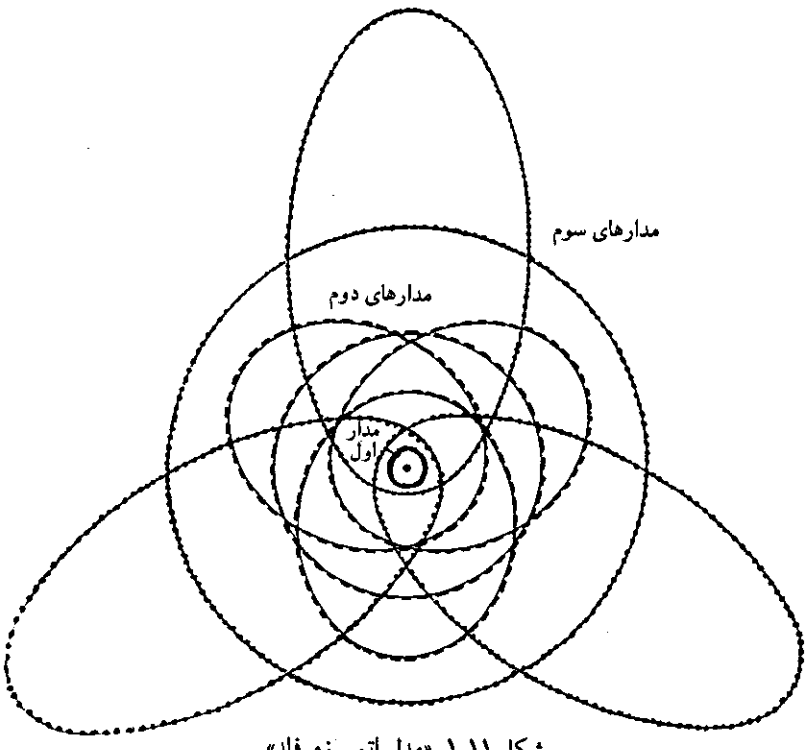
به عبارت دیگر با در نظر داشتن نظریهٔ نسبیت آینشتاین، چنین بنظر می‌رسد که انرژی

---

1. Arnold Sommerfeld	2. The Angular - Momentum Quantum Number

الکترونها در بیضی های مختلف کمی با هم تفاوت دارند. به همین جهت هم، باید سطح انرژی در اتم را با دو عدد کوانتومی (n) و (L) شماره بندی کرد. و به همین دلیل هم خطوط طیفی حاصل از گذار الکترونها از سطوحی با (n)های گوناگون باید دارای ساختار ظریفی باشد، یعنی به چند خط ظریفتر تجزیه شده باشد.

فردریك پاشن[3] بنابر خواهش زمرفلد این نتیجه تئوری را آزمود، و تأیید کرد که برای مثال خط هلیوم (λ = ۴۲۸۶A°) که مطابقت دارد با گذار از سطح n=۴ به سطح n=۳ در حقیقت از ۱۳ خط بسیار نزدیك به هم تشکیل شده است. به عبارت دیگر ثابت شد که هر مدار یا سطح انرژی الکترونی ازلایه‌های انرژی مختلفی تشکیل یافته است. برای هر لایه فرعی نیز اسمی خاص در نظر گرفته شد. مانند L =۰ یاS , L =۱ یاP , S=۲ یاd و L =۳ یاF



شکل ۱۱ـ۱. «مدل اتمی زمرفلد»

3. Paschen

ولی حتی این دوعدد کوانتومی n و Lهم نتوانستند همهٔ ویژگیهای طیف را توضیح دهند. برای نمونه اگر اتم تشعشع کننده ای را در میدان مغناطیسی قرار دهیم، آن وقت خطوط طیف به کلی طور دیگری تقسیم می شوند. (درسال ۱۸۹۶ پیتر زیمان نیز تجزیه خطوط طیفی را در میدان مغناطیسی مشاهده کرده بود.)

فیزیکدانان برای توجیه این مسئله به این نتیجه رسیدند که، می توان یك الکترون را با گشتاور زاویه ای مربوطه اش شبیه جریان الکتریکی که در حلقه های سیم پیچ موتور الکتریکی جریان دارد، مجسم نمود. چون جریان الکتریکی در داخل حلقه، تولید میدان مغناطیسی می کند، لذا می توان گفت، حرکت الکترون در یك مدار مسدود نیز میدان مغناطیسی ایجاد می نماید. مقدار (m) مشخص کنندهٔ این میدان است و چون (m) حاصل از گشتاور زاویه ای الکترون است، لذا مقادیر مجاز آن مربوط به ارزش عدد کوانتومی گشتاور زاویه ای (L) می باشد. سرانجام (m) را عدد مغناطیسی کوانتومی نامیدند. تئوری و تجربه نشان می دهد که (m) می تواند کلیهٔ مقادیر عددی کامل از (L−)تا (L+)به انضمام صفر را داشته باشد. برای مثال اگر ۲ـ = L باشد، mهای آن (۲ـ، ۱ـ، ۰، ۱و ۲) می شود.

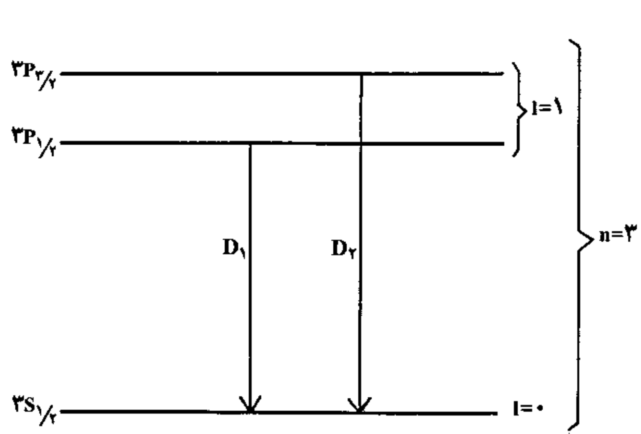
کم کم مدل اتمی بور از حالت سادهٔ اولیهٔ خود دور می شد. اعداد کوانتومی n و Lو m معین کنندهٔ مدارهای ثابت در اتمی هستند که به طور مجزا و منفرد مشخص شده اند. میدانهای خارجی نظیر الکتریکی و مغناطیسی روی حرکت الکترونهای اتم تأثیر می گذارند (تجزیهٔ سطوح انرژی)، و این بلافاصله روی ساختار پرتو نوری که اتم پخش می کند تأثیر می نماید (تجزیهٔ خطوط طیفی).

پرسش بعدی این بود: چرا خط D سدیم حتی در صورت عدم وجود میدان مغناطیسی باز هم از دو خط بسیار به هم نزدیك $D_۱$ و $D_۲$مرکب می باشد؟

تفکرات یکی از شاگردان زمرفلد به نام **ولفگانگ پائولی**[۴]، فیزیکدان سوئیسی (۱۹۵۸ـ۱۹۰۰) در مورد این مسئله، سرانجام درسال ۱۹۲۴ به کشف اسپین[5] الکترون منجر شد. اسپین در لغت انگلیسی به مفهوم دوك و چرخیدن است. که در اینجا به مفهوم گشتاور دورانی یك ذره به دور خودش بحساب می آید. پائولی با خود اندیشید که هر دو خط $D_۱$ و $D_۲$ با گذار همانندی از سطح (n=۳، L=۱) به سطح (n=۳، L=۰) مطابقت دارند. (شکل ۱۱ـ۲)

---

4. Wolfgang Pauli 5. Spin



شکل ۱۱ـ۲. «چگونگی جذب و انتشار دو خط زرد D_1 و D_2 به وسیله اتم سدیم»

اما با این همه، آنها دوگانه هستند. پس باید به جای یك سطح، دوسطح فوقانی ۳p وجود داشته باشد. و به علاوه نوعی عدد تکمیلی کوانتومی به نام عدد کوانتومی اسپین می بایستی آنها را از بقیه متمایز گرداند. او فرض کرد که اسپین الکترونها فقط می تواند دومقدار ۱/۲+ و ۱/۲ـ را قبول کند. (زیرا الکترون در دو جهت مختلف می‌تواند به دور خود بچرخد.)

از نظر پائولی تصور عینی این خواص غیرممکن بود. اما سال بعد جورج یوجین اولنبك[6] (۱۹۷۴ـ۱۹۰۰) و ساموئل آبراهام گوداشمیت[7] (متولد ۱۹۰۲) که هر دو هلندی بودند، مدل عینی برای توضیح این خاصیت الکترون را پیدا کردند. فرض آنها این بود که الکترون حول محور خود می چرخد. چنین مدلی نتیجهٔ مستقیم تشابه موجود بین اتم و منظومهٔ شمسی بود. زیرا زمین نه تنها برروی مدار بیضوی خود به دور خورشید می‌چرخد، بلکه حول محور خود هم می گردد. با این فرق که الکترون برخلاف زمین می تواند در دوجهت چپ و راست به دور محور خود بچرخد. این تشابه را کمپتون درسال ۱۹۲۱ و گرونیك درسال ۱۹۲۳ یادآور شده بودند ولی پائولی با تشبیه آنان مخالفت داشت.

به هرحال با توجه به این نکته که الکترون دارای بار الکتریکی است، گردش آن در دو جهت مخالف مطابق شکل ۱۱ـ۳ باعث پیدایش قطبهای مخالف مغناطیسی و در نتیجه موجب

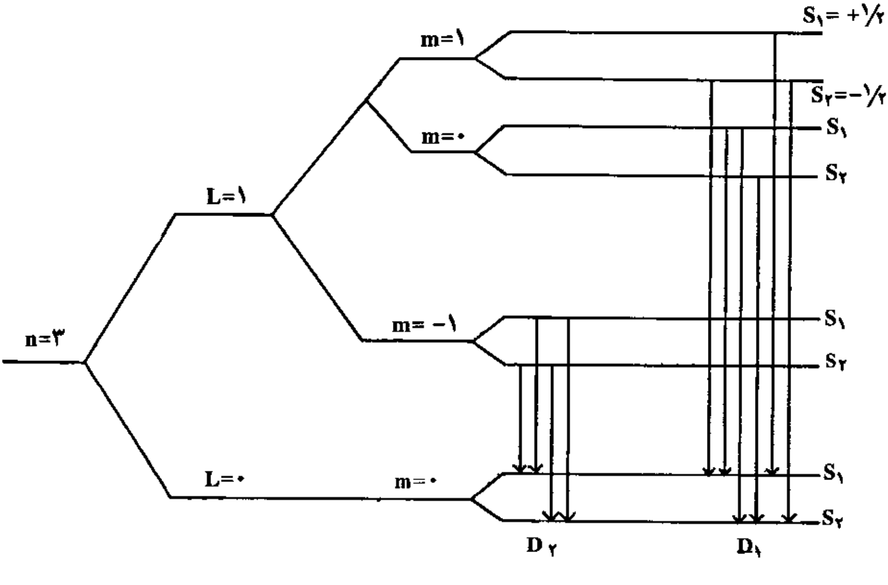
6. Uhlenbeck 7. Goudsmith

نیروی جاذبه میان آنها می‌گردد. این نیروی ربایش مغناطیسی، تا حدودی نیروی رانش الکتریکی میان الکترونها را جبران می‌کند. در ترسیم ترازهای انرژی، جفت الکترون یك اربیتال را به وسیلهٔ دوفلش موازی و مختلف‌الجهت ↓ ↑ نشان می‌دهند.



شکل ۱۱ـ۳. رانش و ربایش مغناطیسی

حالا دیگر همه چیز در سر جای خود قرار گرفته بود. سطح انرژی ۳S در اتم سدیم تغییری نمی‌کند. چون با گشتاور L=۰ تطبیق می‌کند، اما سطح ۳p به دو سطح مختلف انرژی تجزیه می‌شود. و به همین دلیل ما هم به جای یك خط، دو خط نزدیك به هم مشاهده می‌کنیم.



شکل ۱۱ـ۴. «تجزیه دو خط نور زرد D_1 و D_2 در اتم سدیم، به نوارهای جزء (شش تایی و چهارتایی) در میدان مغناطیسی»

اصل ممانعت پائولی

مطابق اصل ممانعت پائولی، در اتم دوالکترون نمی‌توانند همهٔ اعداد کوانتایشان یعنی تمام n و l و m و s آنها یکی باشد، و می بایستی حداقل دز یکی از این چهار عدد با هم اختلاف داشته باشند. به این ترتیب بود که پائولی توانست ساختمان درونی عناصر را برحسب طرز پرشدن پوسته‌های الکترونی آنها توضیح بدهد.

برخطوط طیفی همان گذشت که بر هیروگلیفهای مصری گذشت. به این معنی که تا زمانی که آنها را می‌خواندند، آنها فقط برای مصرشناسان جالب بودند و دیگران به طور مجرد و انتزاعی به آنها توجه می کردند. ولی وقتی الفبا و رمز هیروگلیفها و طیفها گشوده شد، برای همگان جالب شدند.

طیفهای قابل رؤیت اتمها نتیجهٔ جابجایی الکترونهایی است که پیوند آنها نسبت به سایرین سست‌تر می باشد. ولی در هنگام بیشترین تحریك الکتریکی، از اتمها، اشعه ایکس منتشر می‌شود، پرتوهایی با انرژی زیاد که حاصل جابجایی الکترونهای نزدیك به هسته می‌باشند. هنگامیکه آند فلزی را به وسیله الکترونهای پرشتاب بمباران می کنند، اشعه ایکسی که از آند منتشر می‌گردد، مشخص کنندهٔ عنصر تشکیل دهندهٔ آند می باشد. به همین دلیل در سال ۱۹۱۲ هنری موزلی[۸] (۱۹۱۵ـ۱۸۸۷) از اهالی انگلستان، که از شاگردان راترفورد بود به دنبال تشکیل طیف اشعه ایکس برای کلیه عناصر، متوجه شد که:

۱ـ هر عنصری طیف مخصوص به خود دارد.

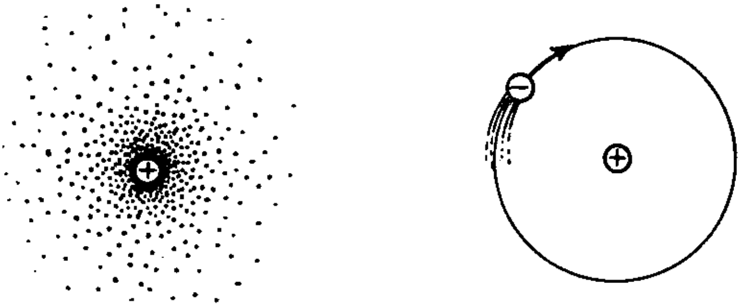
۲ـ فرکانس پرتو ایکس متناسب با جرم اتمی عنصر به کار رفته در آند زیاد می‌شود.

موزلی با استفاده از مدلهای اتمی بور و راترفورد متوجه شد که فرکانس پرتو ایکس باید مشخص کنندهٔ بار هسته اتم نشر دهنده باشد. بنابراین، او توانست نتایج آزمایشهای خود را در یك فرمول تجربی بگنجاند، یعنی: $V=C(Z-B)^2$ در این فرمول B و C برای کلیهٔ عناصر، مقادیر ثابتی هستند، و Z عدد صحیحی است که مقدارش به تدریج در جدول تناوبی مندلیف، از عنصری به عنصر دیگر به اندازهٔ یك واحد اضافه می شود. یعنی Z عدد اتمی و یا به عبارت دیگر تعداد بارهای مثبت هسته اتم است. در نهایت موزلی به این نتیجه رسید که کلیهٔ خواص اصلی شیمیایی یك اتم به دلیل عدد اتمی آن است نه جرم اتمی مربوطه اش، و این یعنی فهم عمیقتری

8. Mosely

از جدول مندلیف.

به کمك مدل منظومهٔ شمسی، بسیاری از خواص الکترونها در اتم و همچنین رفتار مواد گوناگون قابل توجیه بود. ولی به مرور زمان پرسشهای بی‌پاسخی نیز پدیدار شدند. واقعیت این است که تعیین محل دقیق الکترون در یك اتم از نظر تجربی امکان ندارد، و فقط می‌توان راجع به احتمال حضور الکترون در ناحیهٔ معینی از فضا در اطراف هسته صحبت کرد. چنین ناحیه‌ای از فضا، اربیتال[9] نام دارد. به عبارت دیگر اربیتال فضایی است در اطراف هسته، که بیشترین احتمال حضور الکترون را دارا می‌باشد. و چون تراکم نقاط احتمال وجود الکترون به صورت ابری درمی‌آید، به جای مدارات دایره و بیضی شکل از مدل ابر الکترونی استفاده می‌کنند.



الف: مدل سیاره‌ای اتم ئیدروژن — ب: مدل اربیتالی اتم ئیدروژن

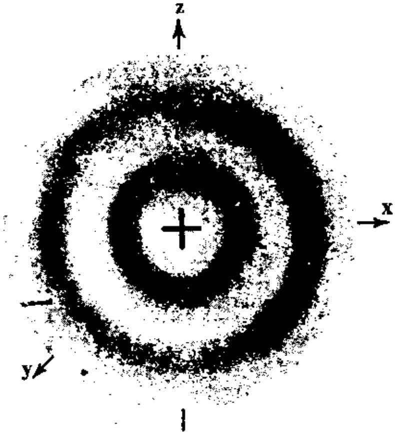
شکل ۱۱ـ۵. مدلهای اربیتالی و سیاره‌ای اتم هیدروژن

به دنبال این مطلب به جای ترازهای انرژی d,p,s و f، می‌توان از اربیتالهای d,p,s و f سخن به میان آورد. آزمایش و تحقیق نشان می‌دهد که حداکثر گنجایش هر اربیتال اتمی فقط دو الکترون با اسپینهای $\pm\frac{۱}{۲}$ می‌باشد. در نتیجه تراز انرژی s شامل یك اربیتال، تراز انرژی P شامل سه اربیتال، تراز انرژی d شامل پنج اربیتال و سرانجام تراز انرژی F شامل هفت اربیتال می‌شوند.

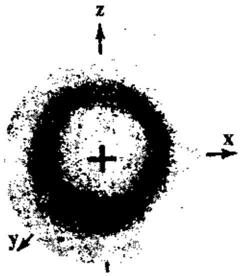
در اتم لیتیوم با توجه به تفاوت قابل توجه انرژی یونیزاسیون آخرین سطح نسبت به الکترونهای سطح قبلی، ابر الکترونی ۲S فاصلهٔ بیشتری تا هسته خواهد داشت. این ابر نیز

9. Orbital

چون وابسته به الکترون S است، به طور کروی و متقارن در طول هسته قرار می‌گیرد.

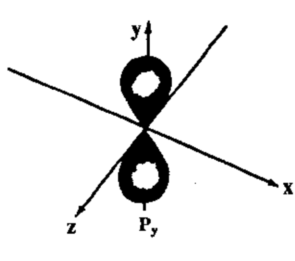


شکل ۱۱ـ۶. اتم لیتیوم (۱S/۲S)

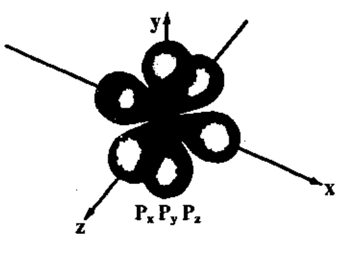


شکل ۱۱ـ۷. اتم هیدروژن (۱S)

اربیتالهای P کروی نیستند بلکه هریك از آنها به شکل یك دمبل می‌باشد. سه اربیتال P را می‌توان در امتداد سه محور فضایی X و Y و Z که بر یکدیگر عمود هستند، نشان داد. هریك از دمبلها نمایشگر اربیتالی است که ممکن است شامل یك یا دو الکترون باشد.

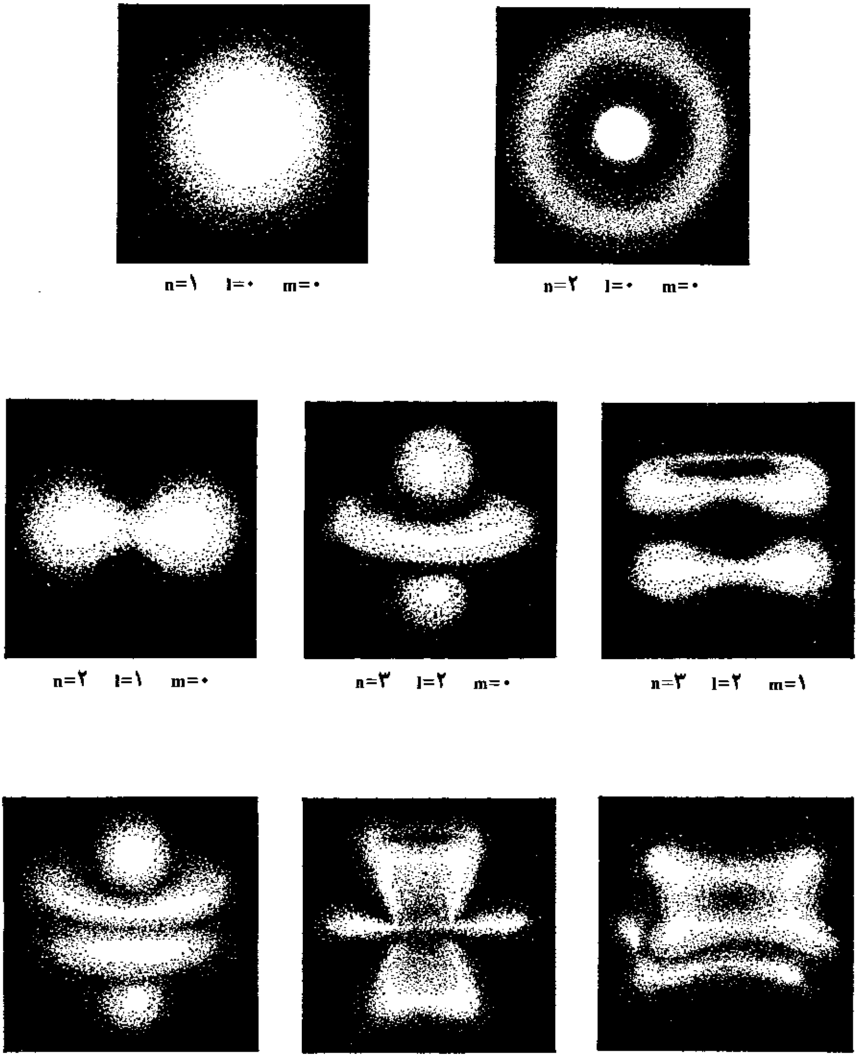


شکل ۱۱ـ۸. اربیتال P_y



شکل ۱۱ـ۹. اربیتال $P_xP_yP_z$

محل تلاقی این سه محور نیز بر هسته منطبق است. به این ترتیب تراکم الکترونی مربوط به هریك از اربیتالهای P در هستهٔ اتم، صفر می‌شود.



شکل ۱۱ـ۱۰. اشکال اربیتالهای S و P و d و F

اما پس چرا اتم که ابعادی ندارد، این چنین پایدار است؟ باید دانست که پایداری کوانتومی به مراتب معتبرتر از پایداری مکانیك کلاسیك می‌باشد. زیرا اتم اگر مختل شود می‌تواند ساختمان خود را دوباره احیا کند، در صورتی که اگر مدار زمین را یك جسم فضایی مختل سازد، هرگز به حال اول خود باز نخواهد گشت.

فصل دوازدهم

رازهای کوانتومی چندی از جدول مندلیف

۱ـ اگر بخواهیم در خیابانی که دارای n خانه است عده ای را اسکان دهیم. و اگر خانه‌ها با اعداد ۱ـn و..... و ۲ و ۱ وه = L شماره گذاری شده باشند، در صورتی که هر خانه دارای ۲L+۱ (L+ و... و. و... و M=-L) اتاق، و در هر اطاق سکنی دادن بیش از دو نفر ($S=\pm\frac{۱}{۲}$) منع شده باشد؛ آنگاه در هر خانه فقط ($۲n^۲$) نفر سکونت خواهند داشت. با استفاده از همین تشبیه است که حداکثر تعداد الکترونها در هر مدار از نظر تئوری برابر ($۲n^۲$) می شود. جدول صفحهٔ بعد نشان دهندهٔ تعداد الکترونهای هر مدار، با توجه به اعداد کوانتومی n و L و m و s است.

۲ـ مطابق اصل هوند در مجموعه اربیتالهایی که در یك تراز قرار گرفته و انرژی یکسانی دارند، به علت نیروی دافعهٔ میان الکترونها ابتدا در هر اربیتال فقط یك الکترون جای گرفته، سپس تمام اربیتالها به ترتیب پر می شوند. یعنی به جای آرایش الکترونی $\underline{\uparrow\downarrow}_{2p_x}$ $\underline{\quad}_{2p_y}$ $\underline{\quad}_{2p_z}$ ما دارای آرایش $\underline{\uparrow}_{2p_x}$ $\underline{\uparrow}_{2p_y}$ $\underline{\quad}_{2p_z}$ خواهیم بود.

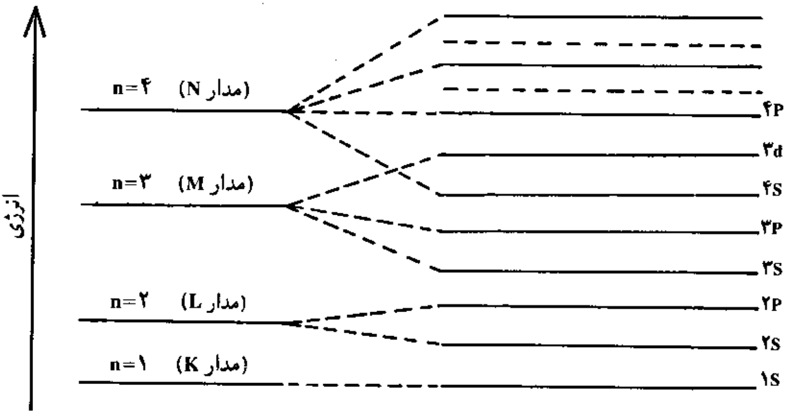
۳ـ هر چند که ازنظر تئوری می بایستی پر شدن مدارات اتم به ترتیب زیر باشد:

۱S				
۲S	۲P			
۳S	۳P	۳d		
۴S	۴P	۴d	۴F	جدول ۱۲ـ۱

جدول ۱۲ـ۲. ترکیبات اعداد کوانتایی و اربیتالهای مربوطه

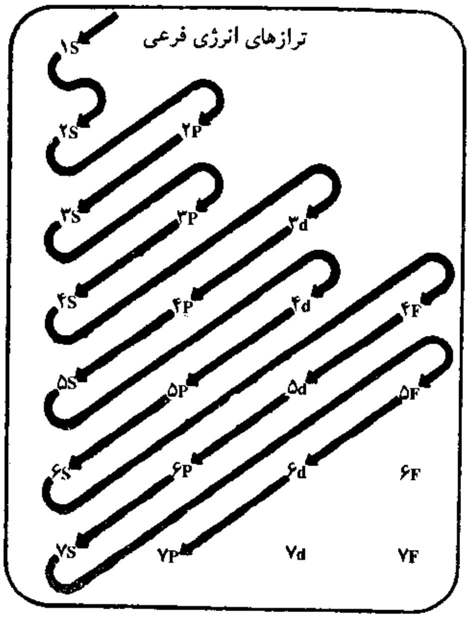
حداکثرالکترونها	S	m	اربیتال	l	n
۲	-½و+½	۰	۱S	۰	۱
۲ ۸	-½و+½	۰	۲S	۰	۲
۶	-½و+½	-۱و۰و+۱	۲P	۱	
۲	-½و+½	۰	۳S	۰	۳
۶ ۱۸	-½و+½	-۱۱و۰و+۱	۳P	۱	
۱۰	-½و+½	-۲و-۱و۰و+۱و+۲	۳d	۲	
۲	-½و+½	۰	۴S	۰	۴
۶ ۳۲	-½و+½	-۱و۰و+۱	۴P	۱	
۱۰	-½و+½	-۲و-۱و۰و+۱و+۲	۴d	۲	
۱۴	-½و+½	-۳و-۲و-۱و۰و+۱و+۲و+۳	۴F	۳	

ولی در عمل سطوح انرژی اصلی و ترازهای فرعی آنها به شکل دیگری می‌باشند. برای مثال در مورد مدارهای ۲و۳ ترتیب زیر برقرار است:



شکل ۱۲ـ۱. سطوح انرژی اصلی و ترازهای فرعی آنها

در نتیجه، نحـوهٔ پر شدن ترازهـای الکترونی کلید عناصر در محل به صورت زیر انجام می گیرد:



شکل ۱۲ـ۲

۴ـ وقتی الکترونی از یك تراز انرژی بالا به تراز انرژی پایین‌تری می‌جهد، مقداری انرژی که مضرب صحیحی از انرژی یك فوتون نور با طول موج خاص می‌باشد گسیل می‌کند. اگر الکترونها جهش مشابهی را به اندازه کافی انجام دهند، نتیجهٔ کار، خط درخشانی در طیف است. وقتی الکترونها از یك تراز انرژی پایین‌تر به تراز انرژی بالاتری می‌جهند، مقداری انرژی جذب می‌کنند، و در طیف خطی تاریك بر جای می‌گذارند.

۵ـ تمام طیفها، صرف نظر از منابع تولید آنها به چهار دسته زیر تقسیم می‌شوند:

۱ـ طیف نشری[1] اتصالی: این طیف از ویژگیهای جامدات یا مایعات حاصل از ذوب آنهاست. اگرچه رنگها در این طیف مشخص هستند، ولی حدفاصلی برای آنها نمی‌توان یافت. و در اسپکتروسکوپ یك نوار اتصالی ازرنگها با طول موجهای مختلف ظاهر می‌گردد.

۲ـ طیف نشری خطی: اجسام جامد ملتهب همیشه طیف نشری اتصالی تولید می‌کنند. ولی بخارهای آنها در دمای زیاد و فشارکم و همچنین گازها، تولید طیف نشری خطی می‌کنند.

۳ـ طیف جذبی[2] اتصالی: اگر نور مولد طیف نشری اتصالی را از یك جسم جامد یا مایع شفاف عبور دهیم و آن را بر شکاف اسپکتروسکوپ بتابانیم، طیف حاصل یك طیف پیوسته جذبی خواهد بود، مانند طیف نور سفید پس از گذشتن از شیشه‌های رنگی ؛ این شیشه‌های رنگی همهٔ رنگها را به جز رنگ خود، جذب کرده و در نتیجه روی صفحه طیف فقط طیف ناحیه رنگ خود شیشه تشکیل می‌شود.

۴ـ طیف جذبی خطی: برای تشکیل طیف جذبی خطی، نور سفید کاملی را از داخل یك گاز عبور داده، سپس طیف آن را تشکیل می‌دهند. برای مثال گازهایی که در مسیر نور خورشید هستند (اتمسفرهای زمین و خورشید) طول موجهایی را جذب می‌کنند که طبق قانون کرشهوف اگر ملتهب شوند، می‌توانند تابش نمایند. از اینرو خطوط سیاه طیف خورشید، معرف عناصر شیمیایی است که در مسیر نور قرار گرفته‌اند.

1. Radiation Spectrum 2. Absorption Spectrum

فصل سیزدهم

مدل اتمی دوبروی

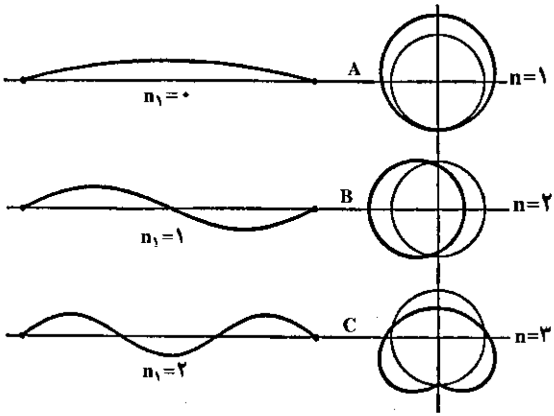
اگرچه تئوری بور توانست طیف اتمهای تك الکترونی (در آخرین لایه) را توجیه کند. با این همه قادر به توجیه صحیحی از طیف عناصر چند الکترونی نبود. در سالهای ۱۹۲۰ فیزیك نظری با دو اشکال مهم مواجه بود یکی مسئلهٔ طبیعت نور و دیگری کوانتیزه بودن انرژی. لذا تدوین مکانیك جدیدی که قادر به بیان مسئلهٔ ذره و موج، و نمایش کوانتیکی انرژی به صورت یك اصل اساسی باشد، بسیار ضروری بنظر می‌رسید.

اولین گام در مورد پیدایش مکانیك موجی جدید توسط **لویی دوبروی** فرانسوی[1] (۱۹۶۰ـ۱۸۹۲) در سال ۱۹۲۴ برداشته شد. مدتها بود که فیزیکدانان عقیده داشتند که پرتوهای الکترومانیتیك عبارتند از پدیده های موجی مطلق. اما آینشتاین خاطرنشان کرد که در بعضی آزمایشها این موجهای الکترومغناطیسی خاصیت ذره ای نیز از خود نشان می‌دهند.

آرتور کمپتون[2] (کامپتون) (۱۹۵۴ـ۱۸۹۲) استاد دانشگاه شیکاگو نیز در سال ۱۹۲۳ طی آزمایشی ثابت کرد که پراکندگی اشعهٔ ایکس بر الکترونها هیچ شباهتی به پراکندگی امواج دریا نداشته و برعکس درست تصادم دوگوی بیلیارد را بخاطر می آورد، که یکی الکترون با جرم m و دیگری کوانتوم نور با انرژی $E = h . \nu$ می باشد.

1. Louis de Broglie 2. Compton

یك سیم یکپارچه به انواع و اقسام زیادی می‌تواند به نوسان درآید، اما همواره در طول سیم، عدد صحیح نیمه طول موج ($\frac{\lambda}{2}$) جای می‌گیرد. دوبروی نیز با توجه به این مطلب مدار الکترون را به شکل سیم نوسان کننده‌ای تجسم کرد که به صورت حلقه‌ای بسته درآمده باشد.



شکل ۱۳ـ۱. ارتعاشات یك سیم

چون در سیم حلقوی، حداقل یك موج کامل (λ) جای می‌گیرد، نه نیمه موجی ($\frac{\lambda}{2}$) که در سیم صاف وجود دارد، به این ترتیب حرکت الکترون فقط وقتی پایدار خواهد بود که در طول مدار عدد صحیح n (موج الکترونی) λ جای گیرد. یعنی: $2\pi r = n\lambda$

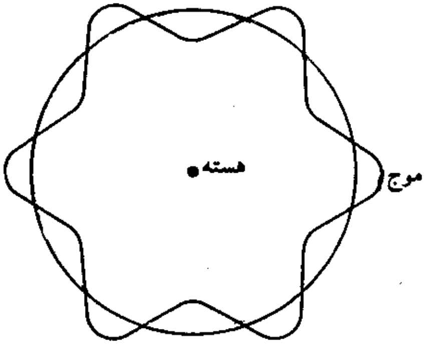
دوبروی این شرط را با اصل اول بور مقایسه کرد.یعنی: ($mvr = n\frac{h}{2\pi}$) و از اینجا طول موج الکترون را بدست آورد: ($\lambda = \frac{h}{mv}$). با تکیه به روابط آینشتاین و پلانك در مورد انرژی و فرکانس یك فوتون نیز می‌توان به معادلهٔ دوبروی دست یافت.

(۱) $E = h\nu$ (۲) $C = \nu\lambda$ (۱) و (۲) $\Longrightarrow E = \frac{hc}{\lambda}$ (۳)

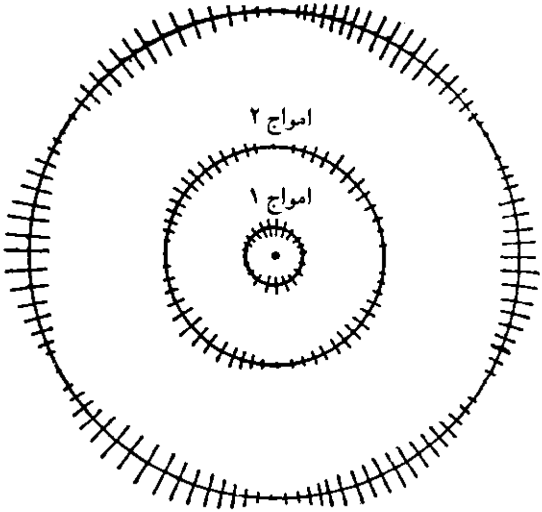
(۴) $E = mc^2$ (۳) و (۴) $\Longrightarrow \lambda = \frac{h}{mv}$

این معادله رابطهٔ بین طول موج و مقدار حرکت یك فوتون را تشریح می‌کند. دوبروی اظهار داشت که می‌توان به کلیهٔ ذراتی که دارای مقدار حرکت $P=mv$ می‌باشند طول موجی را مطابق فرمول بالا نسبت داد.

دوبروی همچنین عقیده داشت که حرکت الکترون و دیگر ذرات مادی توسط موجهایی هدایت می‌شود که همراه با ماده در فضا انتشار می‌یابد. اگر چنین باشد، مدارهای کوانتومی برگزیده در مدل اتمی بور می‌توانند همچون مدارهایی تعبیر شوند که طول آن مدارها شامل تعداد صحیحی از این موجهای حامل باشد. برای مثال یك موج در نخستین مدار کوانتومی و دوموج در مدار دوم.



الف

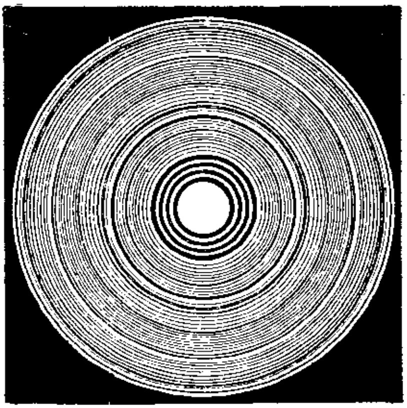


ب

شکل ۱۳ـ۲. امواج دوبروی که برروی مدارهای بور درحرکتند

مطابق فرمول دوبروی، هرچه جرم و سرعت ذره بیشتر باشد طول موجش کوتاهتر می شود. و چون طول موج دوبروی برای الکترون در حدود 10^{-8} سانتی متر پیش بینی می شد، (که در حدود طول موج اشعه ایکس است) برای تحقیق در اینکه آیا امواجی با الکترونها همراهند یا نه، می توان از تکنیك پراش اشعه ایکس استفاده کرد. بنابراین هنگامی که یك دسته الکترون به یك شبکهٔ کریستالی، تابانده می شود، برحسب قاعده باید انکسار پیدا نماید. و این موضوعی است که برای اولین بار در سال ۱۹۲۷ (یعنی سه سال بعد از نشر نظریات دوبروی) توسط دانشمندان آمریکایی به نامهای **کلینتون ژوزف دیویسون**[3] (۱۹۵۸ـ۱۸۸۱) و **لسترهالبرژرمر**[4] (متولد ۱۸۹۶) آشکار، و سرانجام به عمومیت دادن فرضیه دوبروی و پیدایش مکانیك موجی منجر گشت.

جرج پاجت تامسون[5] (۱۹۷۵ـ۱۸۹۲) پسر جوزف تامسون نیز توانست تصویری بسیار عالی از پراش الکترونها را بدست آورد، که به طور حتم پراش اشعه ایکس را بخاطر می آورد. این دیگر حادثهٔ جالبی بود: تامسون پدر ثابت کرد که الکترون یك ذره است، و پس از سی سال پسرش ثابت کرد که الکترون موج است.



شکل ۱۳ـ۳. تفرق الکترونها

3. Davisson 4. Germer 5. Georg Paget Thomson

در نهایت پذیرفته شد که هر ذره ای از جمله الکترون و فوتون دارای طبیعت دوگانه موج ـ ذره می باشد، که در بعضی از آزمایشها خواص موجی بودن و در برخی دیگر خواص ذره ای آن ظاهر می‌شود. بدین ترتیب بود که مفهوم موج ـ ذره[6] بوجود آمد.

فیزیکدانان در این مرحله از تاریخ تکامل علم فیزیك، سه نوع موج را در طبیعت شناخته و به شرح زیر طبقه‌بندی نمودند:

۱ـ امواج مکانیکی مانند امواج صوتی که احتیاج به محیط مادی دارند. به همین دلیل است که در خلاء هیچ صوتی شنیده نمی‌شود.

۲ـ امواج الکترومغناطیسی مانند امواج نوری که محیط مادی باعث کندتر شدن سرعت آنها می‌شود. و در نتیجه این گونه امواج در خلاء براحتی عبور می کنند.

۳ـ موج دوبروی یا موج منتسب به ماده، که نه مکانیکی است (چون در خلاء مطلق می‌تواند وجود داشته باشد) و نه الکترومغناطیسی است (زیرا که دارای بار الکتریکی نیست).

براساس فرضیه دوبروی که تئوری موج وماده نیز نام دارد؛ ماده تا وقتی که ساکن است از استقلال خاص خود برخوردار است، ولی وقتی به حرکت درآید موجودی به نام موج منتسب به ماده از عدم، بیرون می جهد و به وی می پیوندد. و تا زمانیکه ماده در حال حرکت است موج نیز وی را تعقیب و هدایت می کند.

برای ارزیابی و آشنایی بیشتر در مورد طول موج امواج دوبروی کره زمین و الکترون را در نظر می گیریم. اگر جرم کره زمین $۶×۱۰^{۲۷}$ گرم، و سرعتش به دور خورشید $۳×۱۰^{۶}$ سانتی متر بر ثانیه باشد. طول موج، موج منتسب به زمین برابر می شود با:

$$\lambda = \frac{۶/۶۲۳×۱۰^{-۲۷}}{۶×۱۰^{۲۷}×۳×۱۰^{۶}} \simeq ۳/۶×۱۰^{-۶۱} \quad \text{سانتی متر}$$

و این طول بسیار کوچکی است که دستگاههای اندازه گیری فعلی از ضبط آن عاجزند. اکنون یك الکترون را در نظر می گیریم. جرمش حدود $۱۰^{-۲۷}$ گرم است. اگر الکترون در میدان الکتریك، به اختلاف پتانسیل یك ولت حرکت کند، سرعتی برابر $۶×۱۰^{۷}$ سانتی متر بر ثانیه خواهد داشت. و از آنجا، طول موج، موج منتسب به الکترون خواهد بود:

---

6. Wave - Particle

$$\lambda = \frac{6/623 \times 10^{-27}}{6 \times 10^{7} \times 10^{-27}} \simeq 10^{-7}$$ سانتی متر

و این بار وضع تفاوت زیادی کرده است. زیرا 10^{-7} سانتی‌متر، تقریباً طول موج اشعه ایکس است، که فیزیکدانان بسادگی قادر به ضبط و ثبت آن هستند.

فصل چهاردهم

مدل اتمی هایزنبرگ

فیزیکدانان می‌دانستند که الکترون بر هسته سقوط نمی‌کند و تاوقتی که تحریك نشده باشد تشعشع نیز نمی‌نماید. تمام اینها بقدری غیرعادی بود که به عقل نمی‌گنجید، زیرا الکترون که از الکترو دینامیك منشأ گرفته بود، حالا یك مرتبه از تحت نظارت قوانین آن سر باز می‌زد.

ورنر کارل هایزنبرگ[1] (۱۹۶۶ـ۱۹۰۱) از شاگردان زمرفلد در بهار سال ۱۹۲۵ بنا به دعوت بور، از مونیخ به کپنهاك رفت و مانند دیگران در فکر این بود که چرا الکترون از قوانین الکترو دینامیك پیروی نمی‌کند.

هایزنبرگ فکر کرد که نمی‌توان حرکت الکترونها در اتم را همچون حرکت گوی کوچکی در مسیرش پنداشت. پس در این صورت تلاش برای پیدا کردن مسیر الکترون در اتم، به مفهوم طرح پرسشی غیرقانونی از طبیعت است. مانند پرسشهایی نظیر اینکه کره زمین بر روی چه چیزی متکی است؟ یا انتهای کره زمین کجاست؟

طرح بور در بارهٔ اینکه بر الکترون در لحظهٔ جهش و یا در حال پرواز بین دو حالت ثابت چه می‌گذرد، چیزی نمی‌گوید، و تا به حال نیز همه ازروی معادلات الکترو دینامیك سعی داشتند یك مسیر فرضی برای الکترون در اتم بیابند، که همواره تابع زمان باشد. در نتیجه به

---

1. Heisenberg

مواضع مشخص الکترونها در لحظات زمانی t_1, t_2, t_3.... ردیف اعداد x_1, x_2, x_3.... رانسبت می دادند.

هایزنبرگ معتقد شد که چنین مسیری در اتم وجود ندارد. و به جای منحنی پیوسته $x(t)$ یك دسته اعداد منفصل x_{nk} وجود دارد که تعداد آن وابسته به شماره n و k آغاز و پایان حالت الکترون می باشد. همان طور که قواعد و مقررات شطرنج با قوانین مکانیك بستگی ندارد، در مورد حرکت الکترون نیز احتیاجی به مفهوم مسیر نیست. یعنی حالت اتم را می توان بسان صفحهٔ شطرنج بی حد و حصری در نظر گرفت که در هر خانهٔ آن عدد x_{nk} نوشته شده است. بدیهی است که مقدار این اعداد بستگی به موقعیت آن خانه ها در صفحه شطرنج اتمی دارد یعنی به شماره n یا ردیفهای افقی (حالت ابتداییه) و شماره k یا ستونهای عمودی (حالت پایانی) که در محل تقاطع آنها شماره X_{nk} قرار دارد.

$$\overrightarrow{\;K\;}$$

$$i\downarrow\;\begin{vmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \cdot & \cdot & \cdot & x_{1k} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \cdot & \cdot & \cdot & x_{2k} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{i} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & x_{ik} \end{vmatrix}$$

بزودی با کمك **ماکس بورن**[۲] (۱۹۷۰_۱۸۸۲) و **پاسکوال یوردان** (جردان)[۳] توانستند بفهمند که اعداد $\{x_{nk}\}$ یك جدول ساده ای نبوده بلکه یك ماتریس است. ماتریس، جدولی است از نوع اعداد $\{x_{nk}\}$ که برای آنها عملیات جمع و ضرب کاملاً معینی وجود دارد. برای مثال حاصلضرب دوماتریس بستگی به ترتیبی که آنها ضرب می شوند دارد و $\{X_{nk}\}\times\{P_{nk}\}$ برابر با $\{P_{nk}\}\times\{X_{nk}\}$ نیست.

البته ریاضیدانان مدتها قبل از هایزنبرگ ازماتریسها اطلاع داشتند و می توانستند با آنها کار کنند، اما خدمت هایزنبرگ و همچنین بورن در آن بود که آنها سد روانی را در هم شکستند و

2. Max Born 3. Jordan

با جسارت، اندیشهٔ توافق بین خواص ماتریسها و حرکت الکترونها در اتم را پیدا کردند و بدین شکل مکانیك اتمی ـ کوانتومی ـ ماتریسی جدید را پایه‌ریزی نمودند.

در مکانیك نوین در برابر هریك از ویژگیهای الکترون یعنی مختصات X، تکان P(mv) و انرژی E یك ماتریس موافق آن قرار داده می‌شود، یعنی: $\{X_{nk}\}$ ، $\{P_{nk}\}$, $\{E_{nk}\}$

هایزنبرگ حتی یك چیزی هم زیادتر ثابت نمود؛ او روشن ساخت که ماتریسهای مکانیکی کوانتایی مختصات $\{X_{nk}\}$ و دامنه $\{P_{nk}\}$ عموماً ماتریس نیستند، به غیر از فقط برخی از آنها که از تناسب جابجایی (کموتاسیونی) پیروی می‌کنند. یعنی:

$$\{X_{nk}\} \times \{P_{nk}\} - \{P_{nk}\} \times \{X_{nk}\} = i\hbar$$

که در آن $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ و $i = \sqrt{-1}$ می‌باشد. همچنان که بور مدار ثابت را از میان مجموع تمام امکانات برگزید، تناسب کموتاسیونی هایزنبرگ هم از مجموعهٔ تمام ماتریسها فقط مکانیکی کوانتایی را انتخاب کرد.

پائولی که در ۲۱ ماه ۱۹۲۵ گفته بود: «فیزیك دوباره به بن بست افتاده و حداقل برای من فوق‌العاده مشکل است. و من ترجیح می‌دهم که دلقك سینما و یا چیزی شبیه به آن بودم و چیزی از فیزیك به گوشم نمی‌خورد.» در نهم ماه اکتبر همان سال نوشت: «مکانیك هایزنبرگ سرود زندگی و امید را به من بازگرداند اگرچه حل معماها را بدست نمی‌دهد؛ با این همه، بر این باور هستم که اکنون می‌توان دوباره به پیش رفت.» درسال ۱۹۲۷ هایزنبرگ حدس زد که دو مفهوم ذره و موج را لااقل می‌توان در مورد اتم بخوبی بکار برد، اما تعیین خصوصیات آنها فقط جداگانه امکان دارد.

اصل عدم قطعیت هایزنبرگ[۴]

اگر قصد تعیین وضعیت (X) و یا محاسبه سرعت الکترون (V) را داشته باشیم، می‌بایستی از پرتوهای نوری جهت تعیین وضعیت الکترون استفاده کنیم، اما با توجه به قانون بقا مقدار حرکت یعنی ($m_1v_1 = m_2v_2$) در چنین شرایطی به محض برخورد فوتونهای اشعه گاما به الکترون، الکترون به گوشه دوردستی پرتاب می‌شود. بنابراین در عمل در تعیین وضعیت الکترون، دقت عمل برابر با ($\pm\ \lambda$) می‌باشد؛ یعنی برابر با طول موج نور استفاده شده. اگر در تعیین وضعیت الکترون (X) از پرتوهای نورانی که طول موج آنها بسیار کوچك است

4. The Un - Certainly Principle

استفاده کنیم، دقت عمل، زیاد می شود، ولی در همین زمان خواه ناخواه مقدار حرکت الکترون (mv) را تغییر داده ایم.

«به کمك یك فوتون می توان وضعیت (X) الکترون را تشخیص داد. این فوتون اگر دارای طول موج λ باشد، مقدار حرکتش برابر است با: $mv = \frac{h}{\lambda}$ و چون $P = mv$ پس $P = \frac{h}{\lambda}$ از طرفی در برخورد فوتون با الکترون یك قسمت از این مقدار حرکت به الکترون عدم قطعیتی برابر با $\Delta P = \frac{h}{\lambda}$ حاصل می شود. و چون در تعیین وضعیت الکترون دقت عمل برابر است با $\Delta X = \pm\lambda$ لذا حاصل ضرب این دوعدم قطعیت برابر می شود با $\Delta P \cdot \Delta X \approx \frac{h}{\lambda} \cdot \lambda \simeq h$ که از اینجا به تناسب عدم قطعیت هایزنبرگ می رسیم یعنی: $\Delta X \cdot \Delta P \geqslant \hbar$ [5]

در فیزیك اتمی پدیده و مشاهده جدایی ناپذیرند. در حقیقت مشاهده نیز پدیده است. و مسئله در این است که هم دستگاه و هم سوژه در یك جهان کوانتایی قرار دارند. و از این رو تأثیرات متقابله آنها هم تابع قوانین کوانتایی است. ویژگی اصلی پدیده های کوانتایی نیز همان انفصال و گسستگی آنهاست. تناسب عدم قطعیت هرقدر هم که نامفهوم به نظر آید، بالاخره یك نتیجهٔ ساده دوآلیزم ذره ای ـ موجی سوژه های اتمی است. پس هرقدر ذره آهسته تر حرکت کند همان قدر طول موجش ($\lambda = \frac{h}{mv}$) زیادتر خواهد بود و همان قدر هم میزان اشتباه ΔP کمتر خواهد شد. اما درست برای چنین ذره ای عدم قطعیت مختصات Δx خیلی بزرگ است. با تغییر سرعت ذره ما می توانیم Δx و یا ΔP را تقلیل دهیم، اما هرگز نمی توانیم حاصل ضرب آنها را تقلیل دهیم. در نتیجه رابطه عدم قطعیت، گناه این بن بست جدید فیزیك کلاسیك را، هم به گردن خصوصیات دستگاههای اندازه گیری می اندازد، هم به گردن خصوصیات موجی ـ ذره ای خود الکترون.

نارساییهای تئوری هایزنبرگ

«بار الکتریکی ذرات را، که با کمك فرمول هایزنبرگ محاسبه نمودند یك ونیم برابر کمتر از میزان واقعی بار آنها شد. از طرفی فرمول هایزنبرگ جرم ذرات را نیز بدرستی تعیین نمی کند. و بالاخره این تئوری، همهٔ جلوه های ماده را شامل نمی شود. نقطه ضعفی که در تئوری هایزنبرگ و همچنین دیگر تئوریهای معاصر او وجود داشت، همان عدم توجه به وجود میدان جاذبهٔ نیوتنی است»[6] ولی به هر حال ارزش کار هایزنبرگ در این بود که او بدون آنکه از قوانین

۵. اصول شیمی نوین، اثر علی افضل صمدی، انتشارات دانشگاه مشهد، صفحه ۶۶

حساب احتمالات که اداره کنندهٔ جریانات در اتم است، چیزی بداند، ویژگیهای آنها را بخوبی احساس نموده و ماتریسهای خویش را بکار برد.

۶. تئوری نسبیت (جلد دوم)، اثر کاظم عضوامینیان، انتشارات جیران، صفحه ۱۳۵

فصل پانزدهم

مدل اتمی شرودینگر

در اواخر سال ۱۹۲۵ یك فیزیکدان اتریشی به نام اروین شرودینگر[1] (۱۹۶۱ـ۱۸۸۷) در مقاله ای از آینشتاین جملاتی تحسین آمیز نسبت به فرضیهٔ دوبروی مشاهده کرد. همین خود محرکی بود تا شرودینگر به فرضیهٔ دوبروی دربارهٔ امواج مادی معتقد گردد و آن را ترقی داده و به پایان منطقی اش برساند.

با مقایسه فرمول دوبروی $\lambda = \frac{h}{mv}$ با فرمول بور $mvr = \frac{h}{2\pi}$ معلوم می شود که قطر اتم تقریباً سه مرتبه کمتر از طول موج الکترون است.($d = \frac{\lambda}{\pi}$) اکنون آشکار می گردد که چراتصور الکترونها به صورت ذراتی در درون اتم غیر ممکن است، زیرا در آن صورت باید اجازه داده شود که اتم از ذراتی بزرگتر از خویش تشکیل شده باشد. و همان طور هم که هایزنبرگ گفته بود مفهوم مسیر الکترون در اتم وجود ندارد. پس می توان نتیجه گرفت که الکترونها در اتم وجود دارند، ولی نه به شکل ذرات بلکه به صورت نوعی امواج.

بنابه نظر شرودینگر طبیعت این امواج الکترونی هرچه باشد، حرکت آنها باید ازمعادلهٔ موجی تبعیت کند. یعنی: (۱) $\Psi = A\sin 2\pi \frac{x}{\lambda}$ که در آن Ψ (پسی)[2] معادلهٔ موج، λ طول موج، A دامنه یا ارتفاع موج، و X مختصات موج نسبت به محور Xهاست. حال اگر از طرفین

1. Erwin Schrodinger 2. Pessi

این معادله مشتق بگیریم: $\Psi'(x) = \frac{d\Psi}{dx} = A\frac{2\pi}{\lambda}\cos 2\pi\frac{x}{\lambda}$ (۲) باز اگر از طرفین معادله (۲) نسبت به X مشتق بگیریم:

$$\frac{d^2\Psi}{dx^2} = -A\frac{4\pi^2}{\lambda^2}\sin 2\pi\frac{x}{\lambda} \quad (۳) \qquad (۱) \text{ و } (۳) \Rightarrow \frac{d^2\Psi}{dx^2} = -\frac{4\pi^2}{\lambda^2}\Psi \quad (۴)$$

$$E_c = \tfrac{1}{2} mv^2 \quad (۵)$$

اگر طرف راست رابطهٔ ۵ را در $\frac{m}{m}$ ضرب کنیم:

$$E_c = \tfrac{1}{2}\frac{m^2v^2}{m} \quad (۶)$$

با توجه به فرمول دوبروی یعنی: $\lambda = \frac{h}{mv}$ (۷)

$$m^2v^2 = \frac{h^2}{\lambda^2} \quad (۸) \qquad (۶) \text{ و } (۸) \Rightarrow E_c = \tfrac{1}{2}\frac{h^2}{m\lambda^2} \quad (۹)$$

$$(۴) \Rightarrow \lambda^2 = \frac{4\pi^2\Psi}{\frac{d^2\Psi}{dx^2}} \quad (۱۰) \qquad (۹) \text{ و } (۱۰) \Rightarrow E_c = \tfrac{1}{2}\frac{h^2}{m}\left(-\frac{1}{4\pi^2\Psi}\times\frac{d^2\Psi}{dx^2}\right)$$

$$E_c = \frac{h^2}{8\pi^2 m\Psi}\times\frac{d^2\Psi}{dx^2} \quad (۱۱)$$

چون مجموع انرژی الکترون (E) عبارت است از مجموع جبری انرژی جنبشی الکترون E_c و انرژی پتانسیل آن (V)

$$E_c + V = E \quad (۱۲) \qquad E_c = E - V \quad (۱۳)$$

$$(۱۱) \text{ و } (۱۳) \Rightarrow E_c = -\frac{h^2}{8\pi^2 m\Psi}\times\frac{d^2\Psi}{dx^2} = E - V$$

$$\frac{d^2\Psi}{dx^2} = -\frac{8\pi^2 m\Psi}{h^2}(E-V) \qquad \text{معادله شرودینگر}$$

این عبارت، رابطهٔ شرودینگر را در مختصات یك بعدی نشان می‌دهد، که در آن m جرم الکترون، h ثابت پلانك، E انرژی کامل الکترون در اتم، V یا $u(x)$ انرژی پتانسیل آن در اتم است که نشان می‌دهد الکترون با چه نیرویی از فاصله X جذب هسته می‌شود، و X هم فاصلهٔ هسته از الکترون است.

پسی (Ψ) تعریف بخصوصی ندارد ولی ربع قدر مطلق آن یعنی $|\Psi|^2$ یك اصطلاح ریاضی

جهت پیدا کردن احتمال یك ذره است. یعنی عبارت است از احتمال وجود ذره متغیر از محلی به محل دیگر.

به عبارت دیگر آنچه که در مورد چگونگی حرکت یك ذره امکان دارد که بدانیم، به شناسایی یك تابع ریاضی ازمختصات و زمان منجر می شود یعنی: Ψ (x و y و z و t) این تابع را تابع موج ذره مورد نظر می نامند، مقدار| Ψ |، احتمال وجود این ذره را در لحظه t در نقطه ای به مختصات x و y و z نشان می‌دهد. چون احتمال کل یافتن بایستی برابر با یك باشد، این نوع تغییر احتمالی مستلزم این است که تابع موج از شرط زیر پیروی کند: $\int|\Psi|^2 dt = 1$

با این شرط دیگر نمی توان از وجود یك الکترون در یك لحظهٔ معین، و در نقطهٔ بخصوصی صحبت نمود. بلکه باید گفت احتمال یافتن آن در نقطه‌ای بیش از نقطهٔ دیگر است. با این حساب می توان تصور نمود که الکترون به صورت ابری پراکنده شده باشد. و دانسیته این ابر در هر نقطه، احتمال وجود الکترون را در این نقطه نمایش می‌دهد.

حل معادلهٔ شرودینگر نشان می‌دهد که به ازای کلیهٔ مقادیر (n) اربیتالهایی که عدد کوانتایی (L) آنها برابر با صفر است (L=۰) یعنی اربیتالهای (S) شکل آنها کروی بوده و هسته در مرکز این کره قرار دارد. احتمال وجود الکترون مثل بری کروی هسته را در شعاع مشخص و محدودی فراگرفته است. در مورد اربیتالهای P سطح $|\Psi|^2$ عبارت است از دو کره شلجمی روی محوری قرینه که هسته در مرکز آن قرار دارد.

آنچه که بر این مدل اتمی شرودینگر ایراد گرفته‌اند، همانا فرض وجود چنین فضاهای موهومی برای الکترونهاست.

شرودینگر در ابتدا نشان داد که پایداری اتم را با قبول اینکه الکترون موج است نه ذره، طبیعی تر می توان توضیح داد. این فرضیه با آزمایشات مستقیم **دیویسون، ژرمر و جورج تامسون** در مورد پیدا کردن قابلیت پراش در الکترون بیشتر مورد تأیید قرار می گرفت. اما سرانجام شرودینگر در اوایل سال ۱۹۲۷ در برابر تضاد میان مکانیك ماتریسی هایزنبرگ از یك طرف و مکانیك موجی دوبروی و خودش از طرف دیگر به این مباحثات خاتمه داد و ثابت کرد که هر دو مکانیك هم ارزهای ریاضی می باشند. و در نتیجه آنها در عین حال هم ارزهای فیزیکی نیز هستند. یگانگی غیرعادی خاصیت موجی ـ ذره‌ای در فرمولهای پلانك $E = h.\nu$ و دوبروی $\lambda = \frac{h}{mv}$ نیز منعکس است. زیرا انرژی (E) و جرم (m) از خصوصیات ذره، و فرکانس (ν) و طول موج (λ) از نشانه‌های جریان موجی است. یگانه علتی که موجب می شود تا ما در زندگی روزمره خود متوجه این دوگانگی نشویم ـ همانا کوچکی ثابت پلانك

یعنی $h = 6/623 \times 10^{-27}$ (ارگ بر ثانیه) است.

به خاطر همین نکات بود که بور اصل متممیت یا اصل تکمیل[3] خود را در سال ۱۹۲۷ بیان می نماید. مطابق این اصل اگرچه خواص ذره و موجی ذرات با هم متضادند ولی برای بیان کامل سوژه اتمی هر دوی آنها به یکسان لازمند؛ از این رو آنها نه متناقض بلکه مکمل و متمم یکدیگرند. سوژه اتمی نه ذره است و نه موج و حتی نه آندو با هم. سوژهٔ اتمی یك چیز سومی است که جمع سادهٔ دو خاصیت موج و ذره نمی باشد. این یك چیز اتمی، محسوس حواس پنجگانه نیز نمی باشد. فقط می توان آن را تاحدودی به آب دریا تشبیه کرد که خواص موج و ذره را با هم داراست. بنابه عقیده عده ای، بور اصل متممیت را نه از راه فیزیك بلکه از راه فلسفه بدست آورده است. گویا اندیشه متممیت را او تحت تأثیر فیلسوف دانمارکی سورن کی یرکگارد[4] (۱۸۵۵ـ۱۸۱۳) وضع نموده است.

3. Complementarity Principle

4. Soren Aabye Kierkegaard

فصل شانزدهم

نظریات ماکس بورن

ماکس بورن[1] (۱۹۷۰_۱۸۸۲) در گتینگن یکی از مراکز علمی آلمان، فیزیك تدریس می‌کرد. او پیگیرانه پیشرفت تئوری اتمی را دنبال می‌نمود، و یکی از نخستین کسانی بود که به نظریات کوانتومی هایزنبرگ شکل دقیق ریاضی بخشید. به دنبال تجربیات پراش الکترونها درسال ۱۹۲۷ بورن چنین فرض کرد که امواج مادی همان امواج احتمالاتند.

«برای آنکه تابع $p(x)$ که توزیع الکترونها را بر صفحه عکاسی توضیح می‌دهد، پیدا کنیم، باید معادله شرودینگر را محاسبه نماییم. بورن ثابت کرد که احتمال $p(x)$ پیدا کردن الکترون در نقطه x معادل مجذور تابع موجی $\Psi\ (x)$ می‌باشد. یعنی: $P(x) = |\Psi\ (x)|^2$ »[2]

در پی یافتن معنای فیزیکی برای تابع Ψ شرودینگر، بورن مربع تابع موج را همان مفهوم احتمال دانست. در واقع بورن منظرهٔ پراش را به دوایر متحدالمرکزی تقسیم کرد و آنها را شماره گذاری نمود. همچنان که در مورد هدفهای تیراندازی انجام می‌دهند. سپس شماره N_k الکترونهایی را که بر هر یك از دوایر با شعاع (x) اصابت کرده را بر شماره کلی الکترونهایی که بر صفحه عکاسی اصابت کرده (N) تقسیم نمود. آن وقت نظیر قوانین تیراندازی دسته اعداد $P(x_k) = \frac{N_k}{N}$ را بدست آورد، که معادل با پیداکردن احتمال الکترون در فاصله x_k از مرکز هدف

1. Max Born

۲. در آنسوی کوانت، اثر ل. پانوماریف، ترجمه هوشنگ طغرایی، انتشارات میر، صفحه ۲۶۰

می باشد.

شرودینگر در سال ۱۹۲۶ به بور خاطرنشان کرده بود که می خواهد از دست این جهش کوانتومی لعنتی، خود را رهایی دهد. ولی بورن اندیشه امواج شرودینگر را به صورت امواج احتمال که اهمیتی فیزیکی نداشت، اما در تعیین محتملترین مکان الکترون مؤثر بود، تکامل داد. این همان چیزی است که موافق نظر آینشتاین نبود. او در مخالفت با اینکه قوانین مکانیك کوانتومی بر پایه احتمالات استوار است، چنین می گوید: «من به خدایی که با عالم، تاس بازی می کند، اعتقادی ندارم.»

مشکل اساسی در مورد تئوری دوبروی آن بود که تعبیر فیزیکی و مفهوم موج منتسب به ماده بدرستی معلوم نبود. این موج، آیا جزئی ازذره است؟ یا جداگانه و مستقل ذره را دنبال می کند؟ اگر جزئی از ذره است، پس باید در حالت شکست و تفرق، الکترون را نیز به دنبال خود بکشد.

دوبروی (دوبارگلی) پیشنهاد کرد که در این مورد می بایستی ازمقولهٔ موج هادی یا موج راهنما استفاده کرد. به این مفهوم که موج منتسب به ماده، هادی یا راهنمای ذره در حال حرکت است. یعنی ذره به نوعی سوار بر این موج براحتی بر آن قرار گرفته است تا موج به هرکجا که مایل است او را ببرد. اما باز هم مشکل اساسی این بود که تئوری «ذره موج سوار» غیر قابل تخیل و تجسم بود. در نتیجه دوبروی بناچار سعی کرد که ماده و ذره را کنار بگذارد. به نظر او، چرا نباید فرض کرد که موج همان ذره است؟ به عبارت دیگر می توان فرض کرد که ذره از مجموع موج‌هایی تشکیل شده باشد. یعنی ذره مادی، یکدسته موج درهم فرو رفته است، که هریك دارای طول موج کوتاهی است که در برخورد با یك یا چند دسته موج دیگر، چون ذره هادی عمل می کند.

اندیشهٔ اصلی دوبروی، در بارهٔ یکتا بودن ذره و موجش، سخت مورد توجه و بررسی دانشمندان کشورهای مختلف قرار گرفت. ولی هنوز یکسال از انتشار اولین مقاله دوبروی نگذشته بود که ماکس بورن، اولین تفسیر خودش را راجع به موج دوبروی عرضه کرد. و چنانکه دیدیم این تفسیر مورد توجه هایزنبرگ (از شاگردان بورن) نیز قرار گرفت.

در آزمایش مربوط به پدیدهٔ شکست الکترونها، الکترونها از یك منبع ترموالکتریك خارج می شوند و به یك قطعه کریستال (یا ورقه بسیار نازکی از فلز) برخورد می کنند، و به علت تصادم با اتمهای آن دچار تفرق و شکست می شوند. الکترونها، سپس به یك صفحه حساس عکاسی

می‌رسند، و بر آن اثر می‌گذارند، که پس از چاپ و ظهور عکس، نوارهای تاریك و روشن (مشابه با تداخل امواج نورانی) بر آن ظاهر می‌شود. اگر در این آزمایش فقط به چند ده الکترون اجازه عبور داده شود، در این صورت تصویر بدست آمده، مشابه با هدفی می‌شود که یك تیرانداز ناشی چندین بار بر آن تیر انداخته است. اما وقتی که مدت آزمایش را اضافه می‌کنیم، به تدریج نظمی در توزیع این لکه‌های سیاه پدید می‌آید؛ که پس از بوجود آمدن چندین هزار نقطه تصادم، تصویر، کم کم شکلی به خود می‌گیرد که مشابه با نوارهای تاریك و روشن حاصل از تداخل دوموج نورانی است.

اما در تشبیه بالا دونکته وجود دارد: نخست آنکه در انتشار الکترونها، برخلاف مورد نشانه‌گیری تیرانداز، عاملی به نام مهارت و ناشیگری وجود ندارد و منبع انتشار آنها تنها عنصر ترموالکتریك است. دیگر آنکه الکترونها شبیه گلوله نیستند، و جرم گلوله بسیار زیادتر از آن است که موج منتسب به آن قادر به تجلی و ظهور باشد. ماکس بورن پیشنهاد کرد که منحنی توزیع الکترونها را بر صفحه حساس، و یا منحنی توزیع احتمال را، موج دوبروی بنامیم.

نوآوری بورن وقتی معلوم می‌شود که نظر فیزیك کلاسیك نیوتنی را در این مورد بدانیم. ازنظر فیزیك کلاسیك الکترون، پس ازخروج از روزن دستگاه پرتاب، بر روی خط مستقیم حرکت می‌کند و مسیر خود را تا برخورد با اتمهای کریستال حفظ می‌کند. ولی پس از برخورد، از مسیر اولیه منحرف می‌شود، و مسیر خطی جدیدی را انتخاب می‌کند. مکانیك کلاسیك مدل مسیر الکترون را، مشابه مسیر حرکت گلوله بیلیارد، قبل از برخورد و بعد از برخورد به کنارهٔ میز می‌داند. در نتیجه از این دیدگاه در آزمایش بالا دیگر مسئلهٔ تیرانداز نمی‌تواند مطرح باشد، که ممکن است دستش بلرزد یا چشمش خطا کند. به عبارت دیگر چون شرایط تیراندازی الکترونها ایده‌آل است، پس آنها باید صددرصد شکل روزنهٔ خروجیشان را برصفحه عکاسی ترسیم کنند. که اگر ابعاد روزنه بسیار ناچیز و کوچك باشد، محل برخورد الکترون با صفحهٔ حساس باید فقط و فقط یك نقطه باشد.

اما الکترونها بر خلاف قوانین فیزیك کلاسیك عمل می‌کنند. و با ایجاد نوارهای تاریك و روشن به تئوری موج احتمال ماکس بورن گرایش دارند. پیش از این هم فیزیکدانان در بررسی وضع داخلی گازها به جای بررسی حرکت هر مولکول به طور جداگانه، (که اصولاً غیرممکن است، زیرا به تعیین و محاسبهٔ میلیونها معادله، و میلیونها سرعت و دما و... نیاز دارد) بهتر دیدند که همهٔ گاز را در مجموع درنظر بگیرند. یعنی با تمام اتفاقی بودن تغییرات سرعت تك تك

مولکولها، می بایستی سرعت متوسطی را برای آنان در نظر گرفت. بدیهی است که این سرعت تنها وقتی دخالت می کند و بکار می رود که تعداد زیادی مولکول یا ذره مورد بررسی باشد.

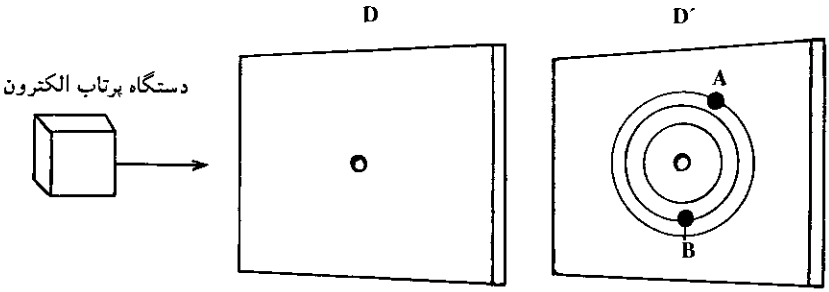
از نظر گروهی از فیزیکدانان، الکترون تسلیم قوانین فیزیک کلاسیک نمی شود و تابع قوانینی است که به مجموع آنها مکانیک کوانتومی نام نهاده اند. در این مکانیک قانون احتمالات در رأس قرار گرفته است. مکانیک کوانتومی دیگر نمی گوید که الکترون پس از عبور از شبکه کریستالی به طور دقیق به چه نقطه ای از صفحهٔ حساس عکاسی برخورد خواهد کرد. بلکه می گوید که احتمال زیادی وجود دارد که در یک نقطه از نوار تاریک به صفحه حساس برسد، شانس کمتری وجود دارد که به منطقه خاکستری برسد و سرانجام شانس بسیار ناچیزی وجود دارد که به یک نقطه از نوار روشن اصابت کند.

«اگر وضعیت فعلی یک سیستم را بدانیم و آیندهٔ آن را پیش بینی نماییم، در این صورت وجود رابطهٔ علّی کاملاً واضح است، اما اگر وضعیت حال را ندانیم و آینده را نتوانیم پیش بینی نماییم نباید این را به معنای عدم وجود رابطهٔ علّی تلقی کرد. برداشت فوق از علّیت، از فلسفهٔ اثبات گرا[3] که علّیت را به مقوله ای صرفاً ذهنی تبدیل می نمایند، اخذ شده است.

تعریف هایزنبرگ از علّیت با تعبیر فیلسوف اثبات گرای نو، شلیک[4] بسیار مشابه است. تعبیر آنها از مفهوم علّیت دونقص اساسی دارد. اولاً، این تعبیر، عینیت نظم علّی طبیعت پدیده ها را با مسئلهٔ امکان شناخت مطلق علتهای یک پدیده که پیش بینی رویدادهای آینده را میسر می سازد، درهم می آمیزد. درثانی، مفهوم رابطهٔ علّی را با رابطهٔ حالات[5] همانند تلقی می کند.... اینکه در پرتاب یک سکه آمدن خط یا شیر را نمی توانیم پیش بینی کنیم به هیچوجه به معنای غیر علّی بودن این پدیده نیست.... و اگرچه در پرواز متناوب الکترونها شرایط محیطی از ماکروسکپی برای کلیهٔ الکترونها همانند است. اما از نظر میکروسکپی این همانندی به هیچوجه وجود ندارد.»[6]

3. Positivism 4. Moritz Schlick 5. Relation Of States

۶. مسئله علّیت و رابطهٔ حالتها در فیزیک، اسو چنیکو، ترجمه شریف زاده، انتشارات نوپا، صفحه های ۲۱۵ و ۲۱۶ و ۲۱۷



شکل ۱۶ـ۱. دستگاه پرتاب الکترون

در شرایط ماکروسکوپیك یکسان الکترونهای پرتاب شده همانند نور تفرق یافته عمل می کنند. یعنی در مجموع حلقه های روشن و تاریکی بر روی صفحهٔ D´ ایجاد می کنند. از آنجا که الکترونها نمی توانند در حلقه های روشن ظاهر شوند، عدم آزادی مطلق الکترونها ثابت می گردد.

فصل هفدهم

تئوری نسبیت آینشتاین

مکانیك کلاسیك چون نمی‌توانست به خلاء مطلق معتقد باشد مفهوم اتر را ابداع کرد. براساس این مکانیك اتر ماده‌ای بی‌بو و بی‌رنگ و نرم و ظریفی بود که جهان را اشغال کرده و همهٔ اجرام آسمانی در آن غوطه‌ورند. اتر عامل انتقال امواج نورانی در فضای بین ستارگان و نیروهای واکنش بین اجسام است. حالا مسئله این است که آیا اتر ساکن است یا متحرك؟ و در هر دوحالت چه نقشی درحرکت نور دارد.

هیپولیت فیزو[1] (۱۸۹۶_۱۸۱۹) دانشمند فرانسوی در سال ۱۸۱۵ بر آن شد که سرعت انتشار نور را در لوله‌ای که آب با سرعت در آن روان است، اندازه بگیرد. تا معلوم شود که آیا در این حالت سرعت حرکت آب به سرعت نور درخلاء افزوده می‌شود یا از آن کاسته می‌گردد. سرانجام طی آزمایشهایی معلوم شد که سرعت نور در آب جاری اختلاف زیادی دارد با سرعت نور در آب ساکن. «فیزو همچنین دریافت که سرعت نوری که در امتداد جریان آب منتشر می‌شود به اندازهٔ ۴۴٪ سرعت آب افزایش یافته، حال آنکه از سرعت نوری که در امتداد مخالف جریان آب انتشار می‌یابد به همین اندازه کاسته شده است.»[2]

فیزیکدانان می‌گفتند که اگر فیزو توانسته است تأثیر جریان آب تندی را بر حرکت نوری

1. Hippolyte Fizeau

۲. سرگذشت فیزیك، اثر جورج گاموف، ترجمه رضا اقصی، انتشارات سکه، صفحه ۲۰۰

که در آن انتشار می‌یابد، مشاهده کند، پس می‌بایستی بتوان تأثیر حرکت کرهٔ زمین را نیز در فضا، بر سرعت نوری که بر سطح آن اندازه گیری می‌شود، مشاهده کرد، بدیهی است که زمین روی مدار خود برگرد خورشید با سرعتی حدود ۳۰ کیلومتر در ثانیه حرکت می‌کند، در نتیجه باید باد اتری نیز که بر سطح کرهٔ زمین و شاید هم در پیکر زمین می‌وزد، وجود داشته باشد. (درست همان طور که یك راننده، اتومبیل روباز خود را در یك روز آرام و بدون باد می‌راند.) به عبارت دیگر همان طور که صوت در جهت باد سریعتر می‌رود، انتظار می‌رفت که نور نیز در جهت اتر سریعتر حرکت کند.

«**آلبرت مایکلسون**[3] (۱۹۳۱ـ۱۸۵۲) در سال ۱۸۸۰ دستگاهی درست کرد که ماکسول سه ماه قبل از آن اصولش را تعیین کرده بود. از این قرار که به این دستگاه یك دسته اشعه نورانی در یك جهت و دستهٔ دیگری از اشعه نورانی در جهت عمود بر آن گسیل می‌نماید. مقایسه نوارهای تداخل معلوم می‌کرد که اختلاف سرعت این دو شاخهٔ نور چه اندازه می‌باشد. سرانجام هنگامی که مایکلسون این آزمایش را انجام داد در کمال شگفتی متوجه شد سرعت نور در هر دوجهت یکی می‌باشد. او در سال بعد همراه دستیارش **ادوارد ویلیامز مورلی**[4] (۱۹۲۳ـ۱۸۳۸) این آزمایش را دوباره تکرار کرد و باز هم همان نتیجه را بدست آورد.»[5] پس می‌توان گفت چون در خلاء چیزی نبوده، بناچار سرعت نور در هیچ جهتی تغییر نکرده است.

اما در همین اوقات **جرج فیتز جرالد**[6] (۱۸۹۱ـ۱۸۵۱) از اهالی ایرلند نتیجهٔ آزمایش مایکلسون را زیرکانه چنین تعبیر کرد: «اگر چنین بنظر می‌رسد که نور در جهت تغییر مکان زمین سریعتر از امتداد عمود بر آن حرکت نمی‌کند، دلیل بر این است که تداخل سنج[7] در جهت تغییر مکان به اندازهٔ ($\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$) کوتاهتر شده است، و اندازهٔ این کوتاهی چنان است که مدت مربوط به اختلاف سرعت را جبران می‌کند.»

در سال ۱۹۰۳ **هندریك آنتوان لورنتز**[8] هلندی نظریهٔ فیتز جرالد را به صورت ریاضی درآورد. او نیز همانند نیوتن به فضا و زمان مطلق و مستقل از هم باور داشت، واتر را نیز به عنوان ماده مقایسه در نظر می‌گرفت. به این معنی که از نظر لورنتز سکون و حرکت اجسام را می‌بایستی با اتر ساکن سنجید.

---

3. Michelson 4. Morley

۵. تاریخ علوم، پی یر روسو، ترجمه حسن صفاری، انتشارات امیرکبیر، صفحه ۲۰۷

6. Fitzgerald 7. Interferometer 8. Lorentz

تا اینکه در سال ۱۹۰۵ آلبرت اینشتین (آینشتاین)[9] (۱۸۷۹ـ۱۹۵۵) اعلام کرد که موضوعی به نام اتر وجود نداشته و برای هر ناظری که دارای حرکت مستقیم الخط متشابه باشد سرعت نور در تمام جهات یکی است. طول جسم نیز بر حسب اختلاف موقعیت ناظر تغییر می کند به این معنی که هرگاه ما نسبت به این طول در حرکت باشیم آن را کوتاهتر از ناظری که نسبت به آن در حال سکون است تصور می نماییم. علت این موضوع آن است که اصولاً زمان و فضای مطلق وجود ندارد و هر ناظری همراه خویش زمان و فضای خاص خود را نیز انتقال می دهد. برای مثال اگر قطار نسبت به مسافرانش ثابت است، نسبت به درختهای کنار خط متحرك است. و این در حالی است که خود کره زمین که به نظر ساکن می رسد، هم به دور خود و هم به دور خورشید در حرکت می باشد. همچنین یك سنگ رها شده از یك هواپیما نیز نسبت به هواپیما در امتداد خط مستقیم سقوط می کند، در حالیکه نسبت به زمین یك مسیر سهمی شکل را طی می کند. پس حرکت امری نسبی است، و می بایستی همواره از حرکت یا سکون یك جسم نسبت به جسم مشخص دیگری سخن گفت. آینشتاین با کمك دو اصل زیر تئوری نسبیت خاص[10] خود را شرح می دهد.

۱ـ قوانین فیزیك در تمام دستگاههایی که نسبت به هم حرکت یکنواخت دارند، یکسان می باشد. (برای مثال چه قطار ساکن باشد و چه دارای حرکت یکنواخت بر خط مستقیم، حرکات اجسام درون قطار تغییری نمی کند. در نتیجه کودکان براحتی می توانند در هر دو حالت به توپ بازی خود در قطار ادامه دهند.)

۲ـ سرعت نور در خلاء و در تمام دستگاههای مختصاتی که نسبت به یکدیگر حرکت یکنواخت دارند، مقدار ثابتی است، و سرعت نور مستقل از حرکت یا سکون فرستنده نور است. (سرعت نور در محیط های مختلف فرق می کند، ولی در هر محیطی سرعت آن بستگی به سرعت منبع خود ندارد. همچنین سرعت نور در خلاء بزرگترین سرعتی است که اجسام و ذرات می توانند داشته باشند.)

«اگر تندی نور، به تندی منبع آن بستگی داشته باشد، ناظر زمینی می باید تصویرهای متعددی از ستارگان متحرك ببیند، زیرا نور از نقطه های گوناگون مدار در زمانهای متفاوت می رسد. با این همه چنین تصویرهایی مشاهده نشدند و نتیجه این شد که تندی نوری که از

9. Einstein 10. Special Theory Relativity

ستاره می‌رسد، خواه ستاره در حرکت خود به ناظر نزدیك شود یا از او دور شود یکسان است.»[۱۱]

تئوری نسبیت خاص بر آن نیست که همه چیز نسبی است، بلکه می خواهد تعبیری تازه از برخی مفاهیم مطلق نظیر زمان و مکان و حرکت به عمل بیاورد. وقتی در راهروی ترنی (با سرعت ۵۰ کیلومتر در ساعت) مسافری در جهت حرکت ترن (با سرعت ۵ کیلومتر در ساعت) حرکت کند، سرعت او نسبت به ریلهای راه آهن ۵۵ کیلومتر در ساعت می شود. و اگر مسافر با همان سرعت در خلاف جهت حرکت ترن حرکت کند، سرعتش نسبت به ریلها برابر با ۴۵ کیلومتر در ساعت می شود. اما نور، از این قانون پیروی نمی کند. در نتیجه تنها یك راه باقی می ماند و آن اینکه باید از قانون ترکیب سرعتها و به طور کلی از تبدیلات گالیله صرف نظر کنیم. (وقتی که برای قاعده ای حتی یك استثنا پیدا شود، می بایستی به دنبال قاعده ای گشت که قاعدهٔ قبلی به عنوان حالت خاصی از قاعدهٔ جدید محسوب گردد.)

تبدیلات گالیله عبارت است از تبدیل مختصات فضا و زمان، از یك دستگاه شبه ساکن (دستگاهی که یا ساکن باشد و یا با سرعت یکنواخت حرکت کند) به دستگاه شبه ساکن دیگر. در این تبدیلات، طول یك قطعه خط (L) و زمان بین دو لحظه (t) تغییر نمی کند. اما با توجه به نکات بالا آینشتاین مجبور گردید که به جای تبدیلات گالیله از تبدیلات لورنتز استفاده کند. در این صورت اگر میله ای به طول (L) از حالت ساکن به سرعت V برسد طول آن دیگر (L) نخواهد بود، بلکه کوتاهتر می شود (انقباض طولها). یعنی: $L' = L\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}$. البته طول اتوبوس متحرك هرگز کمتر از طول آن در حرکت سکون بنظر نمی‌آید، زیرا این اختلاف طول وقتی مشهود می شود که اجسام نزدیك به سرعت نور حرکت کنند (سرعتهایی نظیر سرعت الکترون).

«به طور مثال اگر فضانوردی با یك موشك عازم فضا شود و موشکش با سرعت نزدیك به سرعت نور حرکت کند، پس از چند لحظه (با ساعت فضانورد) که به زمین باز گردد، او کودکان و نوه هایش را پیرتر از خود خواهد یافت.»[۱۲] از نظر تئوری اگر این موشك (مشهور به موشك لانژون) دارای سرعت (v) باشد، یك ثانیه (با ساعت زمینیان) برای فضانورد برابر با

۱۱. مجله دانشمند، ویژه نامه فیزیك، خرداد ۶۵، صفحه ۶۸

۱۲. تئوری نسبیت (جلد اول)، اثر کاظم عضوامینیان، انتشارات جیران، صفحه ۲۵۳

$$t' = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$ خواهد بود (انبساط زمان).

در تئوری نسبیت «مسئلهٔ تقدم و تأخر حوادث یا مسئلهٔ همزمانی[۱۳] نیز نسبی گردید. به این ترتیب که اگر برای مثال در دستگاه k حادثه الف بر ب مقدم باشد در تحت شرایط خاصی ممکن است این دو حادثه در دستگاه دیگری مانند K´ همزمان و یا برعکس حادثهٔ ب بر الف مقدم گردد.»[۱۴] به عنوان مثال از نظر ناظر درون رستوران قطار، مسافری که در کنار پنجره نشسته، در یك نقطهٔ ثابت می‌خورد و می‌نوشد. در حالیکه برای ناظر بیرون قطار، مسافر ابتدا در نقطه A می‌خورد سپس در نقطه B می‌نوشد (چون قطار در حال حرکت است).

همچنین اگر m_0 جرم سکون جسمی باشد. هنگامیکه جسم به سرعت v می‌رسد آنگاه جرمش برابر m خواهد بود. یعنی: $m_v = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$ با توجه به این فرمول معلوم می‌شود که هرگاه سرعت جسمی بخواهد به سرعت نور نزدیك شود، جرم جسم به طرف بی‌نهایت میل کرده و در نتیجه انرژی لازم برای شتاب دادن به چنین جسمی برابر با بی‌نهایت خواهد شد. به همین دلیل است که سرعت نور را سرعت حد در جهان می‌دانند.

این موضوع فرع عجیبی به همراه داشت. به این مفهوم که جرم می‌بایست مولد انرژی باشد، و به عکس انرژی هم باید جرمی داشته باشد. به عبارت دیگر نور و حرارت و اشعه ایکس می‌بایست وزین باشند. یعنی بالاخره جرم و انرژی باید چیز واحدی محسوب شوند. برای مثال یك دیگ آب گرم می‌بایستی سنگینتر از یك دیگ آب سرد باشد، زیرا صرفنظر از جرم آب، جرم انرژی حرارتی را نیز شامل می‌باشد.

فیزیك کلاسیك اصل بقای جرم و اصل بقای انرژی را جداگانه در نظر گرفته بود و حال آنکه نسبیت با متحد ساختن ماده و انرژی، این دو اصل را به اصل واحدی تبدیل نمود. یعنی $E = mc^2$ که در آن E انرژی، m جرم و c سرعت نور است. و بدین ترتیب بود که سرانجام چگونگی تبدیل جرم و انرژی به یکدیگر روشن گردید (میدان به جرم تبدیل می‌شود و جرم نیز به انرژی).

---

13. Simultaneity

۱۴. نسبیت، اثر آینشتاین، ترجمه مسعود حیدری نوری و...، انتشارات کاویان، صفحه ۴

در سال ۱۹۱۵، آینشتاین، برای آنکه تئوری نسبیت تنها محدود به حرکتهای مستقیم الخط متشابه نباشد، تئوری عام نسبیت[15] خود را نیز عرضه نمود.

طبق فرمول نیوتن، با نیروی ثابت، شتاب یك متحرك هرقدر که جرم آن متحرك بیشتر باشد کمتر است. یعنی: ($a = \frac{F}{m}$) اما یك حالت استثنای اساسی وجود دارد و آن نیروی ثقل است. زیرا که در خلاء تمام اجسام با سرعت متساوی سقوط می کنند. به عبارت دیگر می توان گفت که نیروی ثقل از قانون عمومی که در تمام جهان وجود دارد پیروی نمی کند. آینشتاین در نهایت به این نتیجه رسید که نیروی ثقل واقعی نیست بلکه از جمله خواص فضا است.

اگر دو گلوله با جرمهای مختلف را بر سطح واگن بگذاریم، وقتی ترن به حرکت درمی آید (و یا ناگهان ترمز می کند) شتاب این دو گلوله با وجود اختلاف جرمشان، در لحظهٔ شروع حرکت قطار (و یا توقف ناگهانی) یکسان خواهد بود. (همانند سقوط دوگلوله مختلف که اگر از بالای برجی رها شوند، همزمان با هم به پایین می‌رسند.) در نتیجه، نیروی جاذبه شباهتی به نیروی اینرسی پیدا می کند و هر دو شتابی به اجسام می‌دهند که مستقل از جرم آنهاست (تساوی جرم جبری[16] و جرم گرانشی[17]). سرانجام آینشتاین با کمك دو اصل زیر، نسبیت عام خود را پایه‌ریزی نمود.

۱ـ تنظیم قوانین فیزیکی در دستگاههای شتاب‌دار به طوری که قوانین فیزیکی در هر دستگاهی معتبر و صحیح باشد.

۲ـ تساوی جرم جبری و جرم گرانشی

پیش از هر چیز آینشتاین برای تنظیم نسبیت عام خود احتیاج به ابزارهای ریاضی داشت که خوشبختانه ریاضیدانان، این ابزارها را بشرح زیر برای او آماده نموده بودند:

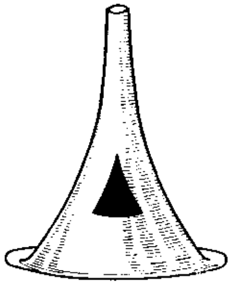
الف ـ هندسه اقلیدسی: این هندسه توسط اقلیدس[18] (۲۷۵ـ۳۳۰ ق.م) در قرن سوم قبل ازمیلاد بنا شده است. نقطهٔ عزیمت این هندسه بر این اصل بنا شده که از یك نقطهٔ خارج از یك خط، فقط یك خط می توان به موازات آن رسم کرد. در نتیجه، مجموع زوایای یك مثلث طبق این هندسه ۱۸۰ درجه می شود، فضای هندسی اقلیدسی در حقیقت یك سطح نامحدود و کاملاً صاف است. این همان فضایی است که فیزیك کلاسیك از آن استفاده می کرد. این فیزیك در

---

15. General Theory Relativity
16. Inertial Mass
17. Gravitational Mass
18. Euclid

قرن هفدهم و هجدهم توسط دانشمندانی چون گالیله، دکارت، هویگنس و بویژه نیوتن پایه‌ریزی شده است.

ب ـ **هندسه هذلولی:** بعد از دو هزار سال که از اصول هندسه اقلیدسی می‌گذشت، **نیکلا لوباچفسکی**[19] (۱۸۵۶ـ۱۷۹۳) ریاضیدان روسی در سال ۱۸۲۶ هندسه فضاهای غیر اقلیدسی خود را عرضه کرد، که به هندسه هذلولی[20] معروف شد. در این هندسه از یك نقطه خارج از یك خط، بی نهایت خط می‌توان به موازات آن رسم کرد. در نتیجه مجموع زوایای یك مثلث در این هندسه کوچکتر از ۱۸۰ درجه می‌شود. با این حساب فضای دوبعدی در هندسه لوباچفسکی شبیه به سطح قیف می‌شود.



شکل ۱۷ـ۱. فضای دوبعدی در هندسه لوباچفسکی

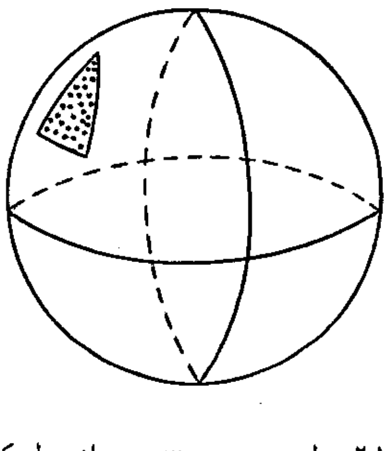
برای اندازه‌گیری فاصله بین دو نقطه در این فضای غیر اقلیدسی، باید میزان انحنای فضای مربوطه را دانست.

پ ـ **هندسه ریمانی:** در اواسط قرن نوزدهم **برنهارد ریمان**[21] (۱۸۶۶ـ۱۸۲۶) هندسه غیر اقلیدسی دیگری را بنا نهاد که به هندسه بیضوی[22] معروف شد. فرض اصلی در این هندسه آن است که از یك نقطه خارج یك خط، هیچ خطی را نمی‌توان به موازات آن رسم کرد. در نتیجه در این هندسه مجموع زوایای یك مثلث بزرگتر از ۱۸۰ درجه است.

فضای دوبعدی در هندسهٔ ریمان سطح یك کره است. خطوط این فضا را نیز دوایر عظیمه سطح کره تشکیل می‌دهند. در نتیجه، کلیه خطوط این فضا یکدیگر را قطع می‌کنند یعنی خطوط موازی به معنای هندسه اقلیدسی، در فضای ریمانی نمی‌تواند وجود داشته باشد. باتوجه به این

19. Lobatchefski 20. Hyperbolic 21. Bernhard Riemann 22. Elliptic

سه هندسه و سه فضای مربوط به آنها، اگر وزنه‌ای در وسط یك صفحه افقی مسطحی قرار بگیرد، باعث می‌شود که صفحهٔ مزبور تحت اثر وزنه انحنا و فرو رفتگی پیدا کرده و سطح لگنچه مانندی ایجاد گردد. حال اگر گلوله‌ای بر روی این سطح رها کنیم، این گلوله به جای اینکه در امتداد خط مستقیم حرکت کند، در داخل لگنچه می افتد و در اطراف جدار آن شروع به چرخش می نماید. آینشتاین نیز نمود مشابهی را عرضه داشت، با این تفاوت که به جای صفحهٔ دوبعدی، فضای سه بعدی را در نظر گرفت، که سیارات همچون گلوله‌های مورد نظر حول جسم وزین خورشید به حرکت درمی‌آیند. به این طریق اعلام شد که تا درفضا ماده موجود نباشد این فضا خواص عادی خود را حفظ کرده و فضای اقلیدسی می باشد، اما در جایی که ماده وجود داشته باشد، فضا انحنا پیدا می کند، و همین انحنا موجب پیدایش قوه ثقل می‌شود. وقتی که فضا انحنا پیدا می کند دیگر فضای اقلیدسی نیست و بنابه انحنای مثبت یا منفی خود، فضای ریمانی یا فضای لباچفسکی بحساب می‌آید.



شکل ۱۷ـ۲. سطح دوبعدی در هندسه ریمان، سطح کره است.

«در واقع برای آینشتاین فقط هندسهٔ ریمانی که به وسیلهٔ الی کارتان[۲۳] (۱۹۵۱ـ۱۸۶۹) اصلاح گردید در فضای اقلیدسی ارزشی داشت. و چون چنین فضایی دارای سه بعد بود، لازم

23. Elie Cartan

بنظر رسید که آن را با بعد چهارمی ترکیب کنند و در داخل یك فضای غیرعادی چهاربعدی جا دهند. این بعد چهارم در سال ۱۹۰۸ توسط هرمان **مینکووسکی**[۲۴] (۱۹۰۹ـ۱۸۶۴) ارائه شد.»[۲۵] از نظر او زمان بعد چهارم است. زمانی که با سه بعد فضا آمیخته شده و مقولهٔ خاصی را به نام فضا ـ زمان[۲۶] بوجود آورده است. (ما در داخل این جای ـ گاه منزل داریم.) البته مینکووسکی محور زمان را t قرار نداد، بلکه نور را حلقهٔ ارتباط و اتصال بین زمان و ابعاد فضایی قرار داد؛ و بدین وسیله یك متصلهٔ فضا ـ زمانی برقرار ساخت. لذا محور ($\sqrt{-۱}$ ct) یا (cit) به عنوان محور بعد چهارم برگزیده شد.

آینشتاین از دستاوردهای ریمان و هموطن او **الوین کریستوفل**[۲۷] (۱۹۰۰ـ۱۸۲۹) نیز در زمینهٔ حساب تانسورها استفاده کرد و با کمك مبحث حساب دیفرانسیل مطلق منتج از آن که از جمله کارهای دو ریاضیدان ایتالیایی به نامهای **ریچی**[۲۸] و **تولیو لوی چیوتیا**[۲۹] (۱۹۴۱ـ۱۸۷۳) بود، تئوری نسبیت عمومی خود را بنیان نهاد.

در نسبیت عمومی منظور از خمیدگی فضا همان انحنایی است که در نظریهٔ فیزیکی آینشتاین به جای قوهٔ جاذبه نیوتنی می‌نشیند. اما در فضاهای خمیده خط مستقیم کوتاهترین فاصله بین دو نقطه نیست؛ یعنی خمیدگی فضا موجب می‌شود که کوتاهترین فاصلهٔ بین دو نقطه، خط مستقیم نباشد.

«ماده، فضای اطراف خود را تغییر شکل می‌دهد و می‌پیچاند. هرچه چگالی و غلظت ماده در یك حوزهٔ معین بیشتر باشد انحنای فضا زیادتر خواهد بود. حرکت اجسام در امتداد مسیرهای خمیده، تولید پدیدهٔ گرانشی می‌کند، درست مثل حرکت قطاری که در سر پیچ، ایجاد نیروی گریز از مرکز اینرسی می‌کند. نیروهای گرانشی بستگی به انحنای فضا و همچنین سرعت اجسام دارند. جاذبهٔ نور را همانند دیگر اجسام جرم‌دار منحرف می‌کند و طول موجش را نیز تغییر می‌دهد. طول موج پرتو نوری که به سوی جسم سنگین حرکت می‌کند کم می‌شود و آبی‌تر بنظر می‌آید.»[۳۰] بنا براین:

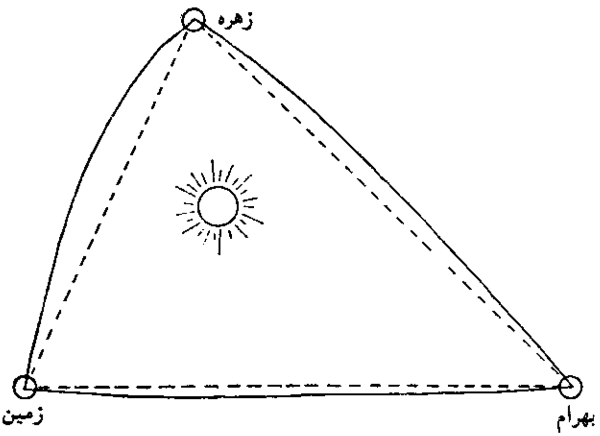
---

24. Minkowski

۲۵. تاریخ علوم، اثر پی‌یر روسو، ترجمه حسن صفاری، انتشارات امیرکبیر، صفحه ۸۵۷

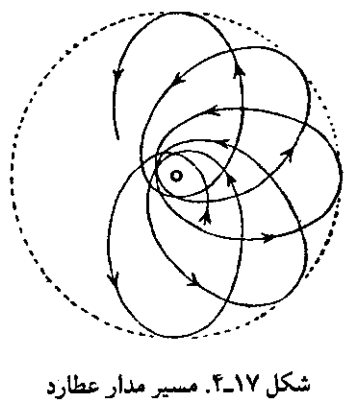
26. Space - Time   27. Christoffel   28. Ricci   29. Levi Civita

۳۰. نسبیت، اثر آلبرت آینشتاین، ترجمهٔ مسعود حیدری.نوری و...، انتشارات کاویان، صفحه‌های ۷و۸



شکل ۱۷ـ۳. مثلث بندی فضایی اطراف خورشید

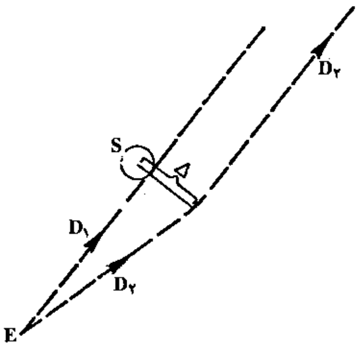
الف: بنا به قانون جاذبه آینشتاین، مسیر بیضی شکل سیارات (به علت وجود نیروی گرانشی دیگر سیارات) به دور خورشید ثابت نمی‌ماند؛ یعنی مسیر بیضی شکل سیاره هیچگاه به روی خودش بسته نمی‌شود. برای مثال «مدار عطارد که نزدیکترین سیاره به میدان گرانشی خورشید است به کندی بسیار در صفحهٔ مدار خود و در جهت حرکت مداری دوران می کند. مقدار این حرکت دورانی طبق محاسبهٔ آینشتاین ۴۳ ثانیهٔ قوسی در هر قرن می باشد.»[۳۱]



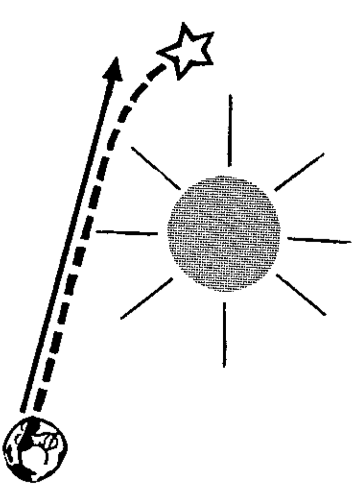
شکل ۱۷ـ۴. مسیر مدار عطارد

۳۱. نسبیت و مفهوم نسبیت، آلبرت آینشتاین، ترجمه محمدرضا خواجه پور، انتشارات خوارزمی، صفحه ۱۰۵

ب: بنا بر نظریهٔ نسبیت عمومی، «مسیر یك شعاع نور چون از یك میدان گرانشی (مثل خورشید) عبور کند، خمیده خواهد شد. (شکل ۱۷ـ۵) این انحنا، نظیر انحنایی است که در مسیر جسمی که در میدان گرانشی پرتاب شود، پدید می‌آید. باید اضافه کرد که مطابق این نظریه، نیمی از این انحراف بر اثر میدان جاذبه نیوتنی خورشید، و نیمی دیگر در نتیجهٔ تغییر هندسی انحنای فضاست که خورشید موجب شده است. این نتیجه را می توان با عکس برداری از ستارگان در ضمن کسوف خورشید به آزمون تجربی نهاد.



شکل ۱۷ـ۶



شکل ۱۷ـ۵. اثر میدان گرانشی بر حرکت پرتوهای نور

مطابق شکل ۱۷ـ۶ اگر خورشید (s) وجود نداشت، ستاره ای که بی نهایت دور از زمین است، در امتداد D_1 دیده می شد، ولی ستاره بر اثر انحراف نور آن به وسیلهٔ خورشید در امتداد D_2 ، یعنی به فاصله‌ای از مرکز خورشید دیده می‌شود، که از فاصلهٔ مکان واقعی خود اندکی بیشتر است.»[۳۲]

آرتور ادینگتون[۳۳] (۱۸۸۲ـ۱۹۴۴) دانشمند انگلیسی در سال ۱۹۱۹ با مقایسهٔ موضع ستارگان در عکسهای معمولی با محل ستارگان در عکسهای گرفته شده در حالت کسوف

۳۲. نسبیت و مفهوم نسبیت، آلبرت آینشتاین، صفحه‌های ۱۲۸ و ۱۲۹

33. Eddington

(خورشیدگرفتگی)، درستی این نظریهٔ آینشتاین را به اثبات رسانید، زیرا که جای بعضی از ستارگان تغییر یافته بود.

پ: «فرکانس نوری که یك اتم گسیل یا جذب می کند، به پتانسیل آن میدان گرانشی که در آن قرار گرفته است، بستگی دارد. فرکانس اتمی که بر سطح جرم آسمانی قرار گرفته است، اندکی کمتر از فرکانس اتمی از همان عنصر است که در فضای تهی (یا بر سطح جرم آسمانی کوچکتری) واقع باشد. بنابراین خطوط طیفی که در سطح ستارگان بوجود می آیند، باید نسبت به خطوط طیفی همان عنصر در سطح زمین به سمت سرخ تغییرمکان یابند.»[۳۴] (آینشتاین مقدار این تغییر مکان را طی فرمولی محاسبه نموده است.)

طبق نظریه آینشتاین «جهان از نظر سه بعد فضایی، دارای انحناست و از نظر بعد زمان، دارای انحنا نیست. مثال ساده این مدل، استوانه ای است که محورهای آن دارای انحنا نیستند و می توان هریك از آنها را محور زمان در نظر گرفت، ولی کلیه خطوط دیگری که بر سطح آن رسم می شوند دارای انحنایند.»[۳۵] درکل باید گفت که نسبیت خاص، فضا ـ زمان چهاربعدی را مسطح و نسبیت عمومی آن را خمیده می کند، که میزان این خمیدگی بستگی به چگالی مادهٔ موجود در فضا ـ زمان دارد.

جهانی را که تئوری نسبیت توضیح می دهد، دارای دو میدان کاملاً از هم جداست. یکی میدان گرانشی و دیگری میدان الکترومغناطیسی. آینشتاین چهل سال پایانی عمر خود را صرف اتحاد این دو میدان بر مبنای هندسه ای یگانه کرد، اما سرانجام موفق به این کار نگشت. حتی بعدها میدانهای دیگری شناخته شدند و انجام این مهم بر عهدهٔ آیندگان ماند. آینشتاین که در سن ۲۶ سالگی سه نظریهٔ مهم در بارهٔ حرکت براونی، اثر فوتوالکتریك و نسبیت خاص را انتشار داده بود، در جوانی به فلسفهٔ اسپینوزا گرایش داشت. زیرا که اسپینوزا (۱۶۷۷ـ۱۶۳۲) نیز سعی کرده بود برای فلسفهٔ خود مبنایی ریاضی بیابد.

آینشتاین تئوریهای نیوتن را یکباره کنار نگذاشت، بلکه مکانیك کلاسیك را حالتی خاص از مکانیك نسبیتی در نظر گرفت. او طی مصاحبه ای گفته بود:

«پیش از این خیال می کردند که با نابود شدن جهان مادی، بازهم فضا و زمان باقی خواهد

۳۴. نسبیت و مفهوم نسبیت، آلبرت آینشتاین، صفحه ۱۳۱

۳۵. تئوری نسبیت (جلد اول)، اثر کاظم عضوامینیان، انتشارات جیران، صفحه ۳۵۱

ماند، ولی طبق نظریهٔ نسبیت، بعد از انهدام اشیای مادی، زمان و فضا نیز از بین خواهد رفت.»

در جمع بندی پیدایش و تکامل تئوری نسبیت، می توان گفت که چون مایکلسون و مورلی ثابت کرده بودند که اگر سرعت سیر نور (c) و سرعت حرکت انتقالی زمین (v) باشد، سرعت نور بر خلاف پیش بینی قانون ترکیب سرعتهای فیزیك کلاسیك، میان دوحد (c+v) و (c−v) نمی باشد. (یعنی سرعت سیر نور به طور استثنایی، با وجود متحرك بودن منبع نور یا ناظر، همواره ثابت می ماند.) از اینرو آینشتاین کوشید، قوانین کیهان را به گونه ای تنظیم کند که این موضوع در آنها منظور شده باشد. ولی او در روند پژوهشهای نظری خود با شگفتی تمام دریافت که زمان، فضا و جرم نیز بر خلاف نظریات فیزیك کلاسیك (و برخلاف مشاهدات روزمره) مقوله هایی مستقل و مطلق نیستند. البته تمام اینها را آینشتاین در سال ۱۹۰۵ در تئوری نسبیت خاص خود، برای اجسامی اثبات کرد که دارای سرعت ثابت و در مسیر حرکت مستقیم می باشند. سپس آینشتاین درپی آن شد که در تئوری خود نه تنها حرکت با سرعت ثابت و در مسیر مستقیم، بلکه هرنوع حرکتی را در نظر بگیرد. از آنجا که در اکثر موارد نیروی جاذبه، باعث تغییر در سرعت و مسیر اجسام می شود، آینشتاین نیز با توجه به نیروی جاذبه بین اجسام، برابری جرمهای جبری و گرانشی، و همچنین با استفاده از هندسه های اقلیدسی، لوباچفسکی، ریمانی و مینکووسکی تئوری نسبیت جدید خود را در سال ۱۹۱۵ عرضه نمود. چون این تئوری برای هرگونه حرکتی طراحی شده بود، به تئوری نسبیت عام مشهور گشت. در نهایت به نظر آینشتاین حرکت زمین به دور خورشید (برخلاف نظر نیوتن) به دلیل وجود نیروی جاذبه ای در میان این دونیست، بلکه به علت انحنای فضا ـ زمانی اطراف خورشید است.

آنچنان که مشاهده شد پس از فیزیك کلاسیك، فیزیك مدرن به دوشاخهٔ کوانتومی و نسبیتی تقسیم گردید. در شاخهٔ کوانتومی، ذرات بنیادی بسیار کوچك مورد بررسی و تحقیق قرار می گیرند. موقعیت مکانی و مقدار حرکت در دانش فیزیك برای بیان اصل علیّت بکار می روند، ولی در ظاهر اصل عدم قطعیت که یکی از نتایج دیدگاه کوانتومی است با توجه به خصلت موجی ـ ذره ای بودن ذرات بنیادی، اجازه نمی دهد که وضعیت یا مقدار حرکت را به طور دقیق تعیین کنیم. در نتیجه، مکانیك کوانتومی برتن قوانین خود، لباسی از آمار و احتمال را پوشانیده است.

آینشتاین که خود نقشی فعال در پیشرفت مکانیك کوانتومی داشت (برای مثال تفسیر کوانتومی او از پدیده فوتوالکتریك) در نهایت، بامکانیك کوانتومی بویژه با اصل عدم قطعیت به مخالفت برمی خیزد. در تئوری نسبیتی او که حرکات اجرام و اجسام بزرگ مورد بررسی قرار

می گیرد، همه چیز تابع قوانین قطعی و قابل پیش بینی است.

پل دیراك در اینکه ممکن است حق با آینشتاین باشد، دودل است. او در سال ۱۹۷۹ اظهار می‌دارد که: «روشن است که مکانیك کوانتومی کنونی هنوز به شکل نهایی اش درنیامده است. ولی ممکن است همان طور که آینشتاین می گفت، روزی فرا رسد که مکانیك کوانتوم علیّت را در خود بگنجاند.»

فصل هجدهم

تئوریهای دیراك

در رابطهٔ نسبیتی آینشتاین یعنی رابطهٔ ($E^2=p^2c^2+m^2c^4$) انرژی دارای دو جواب مثبت و منفی است. ($E^2=\pm\sqrt{p^2c^2+m^2c^4}$) انرژی مثبت قابل درك بود ولی در مدت سی سال همهٔ فیزیکدانان جواب منفی این معادله را جوابی اضافی و یابه عنوان یکی از شوخیهای طبیعت بحساب می‌آوردند. تا اینکه در سال ۱۹۲۸ پل آدرین موریس دیراك[1] (دیـرك) (۱۹۸۵ـ۱۹۰۲) فیزیکدان ۲۷ سالهٔ انگلیسی که از شاگردان راترفورد بود، وجود این ذرات را حتمی دانست. او در برابر شگفتی همگان بر این عقیده بود که الکترونهایی با جرم و انرژی منفی می‌توانند وجود داشته باشند؛ و این یعنی پیش بینی وجود ذرات ضدماده[2] از رابطه نسبیت. دیراك حتی از نظر تئوری، معادلهٔ مربوط به این ذرات را نیز به دست داد. و بدین ترتیب مکانیك کوانتومی ـ نسبیتی[3] براساس نظریات پلانك، بور و آینشتاین بنیان نهاده شد.

دیراك در معادلهٔ شرودینگر اصلاحات مکانیك نسبی را بکار برد. این اصلاحات شامل تغییر جرم ذره در سرعتهای زیاد و همزمان با آن، تغییر جنبش و انرژی ذره است. پیشنهاد دیراك وارد کردن چهار تابع موج به جای یکی، در معادلهٔ شرودینگر بود. البته معادلهٔ حاصله، با معادلهٔ اولیه تفاوت زیادی داشت ولی پاسخهای تغییرناپذیر، بر اساس تبدیلات نسبیتی بدست می‌داد.

---

1. Paul Adrien Maurice Dirac 2. Anti Particles (هر ضدماده از چند ضدذره تشکیل می‌شود.)

3. Relativistic Quantum Mechanics

معادلهٔ اخیر بر مبنای توابع موج چهارگانه، چهار پاسخ مختلف داشت: دوجواب آن مربوط به دو جهت مختلف اسپین الکترون، و دو جواب دیگر مربوط به انرژیهای مثبت و منفی الکترون و ضدالکترون (پوزیترون) بود. $\Sigma_{\nu=1} \quad \gamma_\nu \frac{\Delta \Psi}{\Delta x_\nu} + \frac{2\pi mc}{h} \Psi = 0$

این معادله که معادلهٔ حرکت در دنیای ذرات بنیادی است، اولین جملهٔ طرف چپش چگونگی وقوع حادثه را در یك نقطه از فضا و در یك لحظه از زمان بیان می کند. دومین جمله نیزتابع موج Ψ منتسب به ذره بوده و m نیز جرم ذره با اسپین $\frac{1}{2}$ است.

ذراتی نظیر الکترون در تغییر مکان خود در فضا، برخی اوقات، از قوانین مکانیك کلاسیك پیروی می کنند و از خصوصیت مادیشان بهره می گیرند. ولی این ذرات دارای خصوصیات موجی نیز می باشند. و هنگامی که موج منتسب به آنها در حرکت و پارامترهای فیزیکیشان دخالت کند، دیگر قوانین مکانیك نیوتنی بکار نمی رود، و باید از مکانیك کوانتومی استفاده کرد. دیراك نیز، چنین قانونی را برای الکترونهای با اسپین $\frac{1}{2}$ تدوین کرد.

در مرحلهٔ بعد، او تئوری دریای دیراك را وضع نمود: فرض کنید که الکترونها در تراز منفی قرار دارند، یعنی ترازهائی که انرژیشان کمتر از صفر است. پس آنچه را که در عالم به نام خلاء می شناسیم در حقیقت انباشته از این الکترونهاست، که دارای انرژی پتانسیل متغیر و گوناگونند ولی میدان الکترومغناطیسی و میدان جاذبه این الکترونها صفر است. در این خلاء یا در این دریا، الکترونهای دیراك مشابه با حبابهای هوا که در آب وجود دارد، دارای فضایی خالی میان یکدیگرند. وقتی یك الکترون معمولی وارد چنین حفره ای می شود، آنگاه نابودی و تلاشی الکترون و حفره اش را سبب می گردد که فوتونهایی با انرژی این زوج پدید می آید.

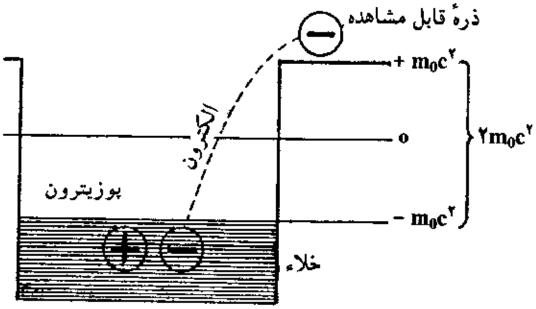
به نظر دیراك، جهان انباشته از این الکترونهاست، ولی ما در عمل عاجزیم که آنها را دریابیم و تشخیص دهیم. این دریا وجود دارد، اما قطرات آبش دارای میدان الکتریکی و میدان مغناطیسی و میدان جاذبهٔ عمومی نیستند. (در حقیقت خلاء، دیگر آن چیزی نیست که ما تاکنون می شناخته ایم.)

به عبارت دقیقتر چون منفی بودن انرژی بدان معنی است که ذره به سیستمی وابسته است، از آنجا که الکترون آزاد تصور می شود بنابراین ذراتی که در معادلهٔ دیراك با انرژی منفی فرض می شوند بایستی به حدی از آن دور باشند که هیچ نیروی الکتریکی بین آنها و الکترون انجام نگیرد. لذا الکترون باید در خلاء مطلق و بی انتها، تنها باشد.

از نظر دیراك «چاه پتانسیل کیهان که الکترون در آن قرار دارد، بسیار بزرگ و عمیق

است. فاصله بالاترین تراز انرژی تا تراز پایینی (انرژی صفر) به اندازهٔ m_oc^2 (انرژی سکون الکترون) می باشد. از این رو کلیه الکترونهای خلاء انرژی منفی خواهند داشت. آشکارسازی این الکترونها فقط به هنگام خروج از چاه پتانسیل امکان دارد، یعنی برای خروج آنها m_oc^2 انرژی لازم است. ولی انرژی مذکور بازهم کافی نیست. زیرا علاوه بر انرژی لازم جهت عبور از سد پتانسیل، به اندازه m_oc^2 نیز انرژی اضافی ضروری است. بدین ترتیب روشن می شود که سد پتانسیلی به ارتفاع $2m_oc^2$ از آشکارسازی الکترونهای خلاء جلوگیری می کند.»[4]

به عبارت دیگر وقتی الکترونی از خلاء بیرون رانده می شود در محل سابق خود، یك بار مثبت (که از نظر قدر مطلق با بار الکترون برابر است) بوجود خواهد آمد. یعنی در واقع یك حفره تشکیل می شود (مشابه با تفسیر حفره ای در ساختمان نیمه هادیها). در نتیجه الکترون وحفره در یك لحظه با هم از خلاء بوجود می آیند؛ که در کل $2m_oc^2$ انرژی برای تولد آنها لازم است. الکترون پس از گشت و گذار خویش در جهان آزاد می تواند دوباره به خلاء باز گردد. برای این منظور باید با حفره ای برخورد نماید و در این حالت هر دو ناپدید شده و از خود، دو پرتوگاما برجای می گذارند.



شکل ۱۸ـ۱. نظریهٔ دریای دیرك

۴. الفبای مکانیك کوانتا، ویتالی رایدنیك، ترجمه مجتبی جعفرپور، انتشارات گوتنبرگ، صفحه ۲۲۰

با وجود اینکه مانعی برای برخورد همهٔ الکترونها و پوزیترونها و تبدیل آنها به پرتوهای گاما موجود نیست؛ با این حال، الکترونها همیشه با پوزیترونها برخورد نمی کنند و نباید نگران نابودی جهان باشیم. عده ای عقیده دارند که در بخشی از عالم، جهانهای ضدماده که از ضد ذرات ساخته شده اند، وجود دارد. (در نتیجه در چنین جهانهایی الکترونها در حکم مهمانهای اتفاقی می باشند.)

سرانجام در سال ۱۹۳۲، اولین ذرهٔ ضد ذرهٔ شگفت انگیز در اشعهٔ کیهانی، توسط **کارل دیوید آندرسون** آمریکایی[5] (متولد ۱۹۰۵) کشف شد. و به این ترتیب اولین ضد ذره، یا ضد الکترون به نام پوزیترون بدست آمد. آندرسن الکترونهای پرانرژی موجود در رگبارهای اشعهٔ کیهانی را در یك اتاق ابری پی جویی می کرد. برای اندازه گیری سرعت این الکترونها، اتاق ابری را در یك میدان مغناطیسی قوی قرار داد، و با تعجب مشاهده کرد که عکسها چنین نشان می دهند که نیمی از الکترونها به یك سو منحرف شده اند و حال آنکه نیمی دیگر به سوی مخالف انحراف یافته اند. بنابر این مخلوطی به نسبت ۵۰٪ از الکترونهای مثبت و ۵۰٪ از الکترونهای منفی وجود داشته است که هر دو دارای یك جرم بوده اند. الکترونهای مثبت حفره هایی بوده اند در اقیانوس دیراك که نتوانسته اند به مقام پروتون برسند، اما به سهم خود همچون ذره هایی نمایان شده اند.

ژان تیبو[6] ثابت کرد که پوزیترون ذره پایداری است که مدت حیاتش چون الکترون بسیار طولانی است. اما چنین پایداری و ثباتی، در دنیای ما، فقط در خلاء امکان پذیر است، زیرا به محض خروج از خلاء با الکترون جمع شده و سپس به فوتونهایی تبدیل می شوند. برعکس، دو فوتون با انرژی تقریبی ۰/۵ مگاالکترون ولت می توانند با یکدیگر جمع شوند و زوج مادی الکترون ـ پوزیترون را پدید آورند.

تئوری دیراك که وجود پوزیترون را پیشگویی کرده بود، ضد ذرات دیگری، چون آنتی پروتون (ضد پروتون) را نیز پیشگویی می کرد. تا اینکه در سال ۱۹۵۵، اولین آنتی پروتون در شتاب دهنده اتمی دانشگاه برکلی آمریکا بدست آمد. جرم آنتی پروتون مساوی جرم پروتون می باشد ولی بار الکتریکش منفی است، که پس از اتحاد و تصادم این دو به جای فوتون، پنج مزون پی بوجود می آید.

---

5. Anderson 6. Thibaud

پس از کشف الکترون، در سال ۱۹۱۹، راترفورد، هستهٔ اتمها را با ذرات آلفا بمباران کرد و نشان داد که می‌توان ساده‌ترین هسته یعنی پروتون هستهٔ هیدروژن را از آنها جدا کرد. سپس نوبت به کشف نوترون رسید. به روال سنت دیرین، فرض می‌کنیم که هستهٔ اتم ازت که شامل ۱۴ پروتون و ۱۷ الکترون است در کل ۲۱ ذره دارد. بنابراین اسپین هستهٔ ازت، که مجموع اسپین ذرات تشکیل دهنده آن است، باید نیمه کامل و برابر با $\frac{۲۱}{۲}$ (که با حذف $\frac{۲۰}{۲}$ برابر با $\frac{۱}{۲}$ می‌شود) باشد. ولی اسپین هستهٔ اتم ازت شناخته شده برابر با یك بود. و درست همین ماجرا، فاجعه ازتی را در فیزیك اتمی بوجود آورد.

«برای حل فاجعهٔ ازتی به ذره تازه‌ای نیاز بود. خصوصیات فیزیکی آن، قبل ازکشف، به طورکامل معلوم بود، فیزیکدانان درکشف آن به شخصی شباهت داشتند که درجدول کلمات متقاطع به دنبال کلمه‌ای می‌گردد که تعدادی از حروف آن مشخص شده است. آنها فرض کردند که در هستهٔ اتم ذره دیگری وجود دارد که جرمش با جرم پروتون برابر ولی از نظر الکتریکی خنثی است. در سال ۱۹۲۰ سه فیزیکدان همزمان با هم، وجود آن را اعلام داشتند. آن سه تن عبارت بودند از:

راترفورد ازانگلیس، **مازون**[۷] (ماسون) از استرالیا، و **هارکینس**[۸] از آمریکا. باتوجه به اینکه این ذره خنثی است، هارکینس نام نوترون یا خنثی را برایش انتخاب کرد.»[۹] ولی با وسایلی که فیزیك آن زمان در اختیار داشت، کشف یك ذره خنثی غیر ممکن می‌نمود. زیرا همهٔ دستگاه‌ها براساس تشخیص ذرات باردار ساخته شده بودند. بنابراین نوترون می‌بایستی ده سال صبر کند تا او را بیابند.

روزی دو فیزیکدان آلمانی به نام‌های **والتربوت**[۱۰] (بته) (متولد ۱۸۹۱) و **بکر**[۱۱] هنگامیکه برلیوم را با ذرات آلفا بمباران می‌کردند، شاهد پدیدهٔ عجیبی شدند. عناصر بمباران شده، تشعشعی بسیار ضعیف، اما به طور خارق‌العاده‌ای نفوذکننده منتشر ساختند. آنان این پدیده را تشعشع برلیومی نامیدند. پس از دو سال کاشفان رادیواکتیویتهٔ مصنوعی (برای مثالی در مورد رادیواکتیویته مصنوعی آنان آلومینیم را با ذرات آلفا بمباران کردند و فسفر رادیواکتیو ۳۰ با نیمه عمر ۲/۵ دقیقه را بدست آوردند. حال آنکه در طبیعت فقط فسفر ۳۱ موجوداست.)

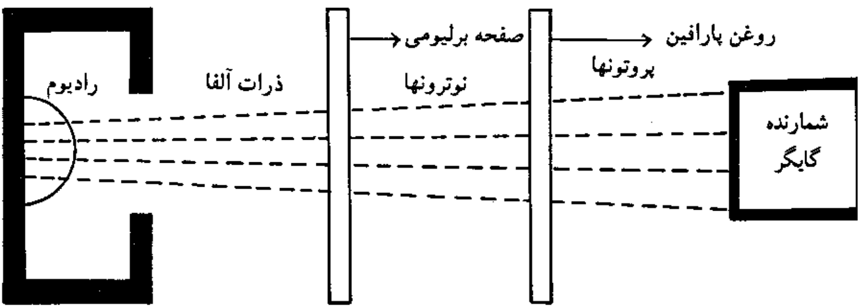
7. Masson 8. Harkins

۹. سیری در تاریخ اتم، اثر کاظم عضوامینیان، انتشارات جیران، صفحه ۱۹۲

10. Bothe 11. Becker

یعنی ایرن کوری[12] (۱۹۵۶_۱۸۹۷) و همسرش فردریك ژولیو[13] (۱۹۵۸_۱۹۰۰) در مسیر این اشعه پارافین قرار دادند. پارافین هیدروکربوری است که مولکولهایش چون حلقه‌های زنجیر با یکدیگر در ارتباطند، و بر این حلقه‌ها اتمهای هیدروژن استوارند. اشعهٔ ناشناس برلیومی، در عبور از پارافین، هستهٔ اتم هیدروژن یعنی پروتون را به خارج پرتاب می کرد. و این واقعه‌ای بس مهم بود که می‌توانست زیربنای تشعشعات شیمیایی باشد.

نخست سعی شد این اشعهٔ ناشناس را مشابه با اشعهٔ گاما ولی با انرژی زیادتر فرض کنند. ولی تناقضاتی که به دنبال آن بروز کرد سبب حذف این فرض گردید. سرانجام در ۲۷ فوریه ۱۹۳۲، جیمزچادویك[14] (۱۹۷۴_۱۸۹۱) فیزیکدان انگلیسی که از همکاران راترفورد بود، طی آزمایشهایی اظهار داشت که این اشعه از نوع امواج الکترومغناطیسی نیست. و چون بدون بار الکتریکی و هم جرم با پروتون است پس به طور حتم این اشعهٔ ناشناس همان اشعهٔ نوترونی است، که به خاطر فقدان بار الکتریکی قابلیت نفوذ زیادی را دارا می باشد.

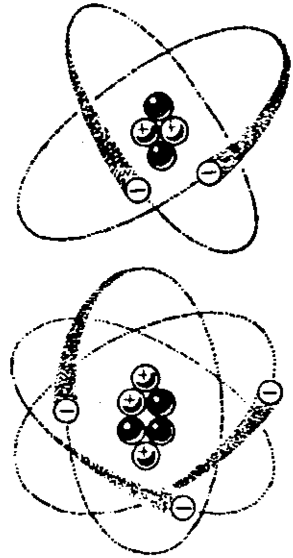


شکل ۱۸_۲. «آزمایش چادویك»

در ۱۹۳۲، جیمز چادویك برای بمباران برگهٔ بریلیوم ازذرات آلفا (که از یك چشمهٔ رادیوم گسیل می‌شدند) بهره گرفت. او پی برد که تابشی بسیار نافذ، که می‌تواند پروتونهای سریع را از قطعه‌ای پارافین که بر سر راهش قرار گرفته است بکند، از این برگه گسیل شده است. چادویك همچنین ثابت کرد که این تابش مشتمل است بر باریکه‌ای از ذرات بدون بار، که جرم هر یك از آنها با جرم پروتون یکی است. او این ذرات را نوترون نامید و توضیح داد که برخورد مستقیم نوترونها با اتمهای هیدروژن در مولکولهای قطعهٔ پارافین پروتونهای مشاهده شده را، از سطح آن کنده است.

12. Curie 13. Joliot 14. Chadwick

دیگر آشکار شده بود که الکترون در ساختمان هسته دخالتی ندارد و هستهٔ اتمها از پروتون و نوترون تشکیل شده است. تئوری و مدل جدید ساختمان هسته در سال ۱۹۳۲ توسط هایزنبرگ و مستقل از وی توسط ایواننکو[۱۵] و گاپون[۱۶] تدوین و ترسیم گردید.



شکل ۱۸ـ۳. مدل اتمی هایزنبرگ

در این مدل تعداد پروتونها مساوی با تعداد بار مثبت هسته می‌باشند (عدد اتمی). و مجموع جرم پروتونها و نوترونهای هسته، جرم هسته را تشکیل می‌دهند. (امروزه برای نمایش دادن یك عنصر، جرم اتمی (A) آن را در بالا و عدد اتمی (z)آن را در پایین نام شیمیایی عنصر می‌نویسند. برای مثال عنصر سدیم را به این شکل مشخص می‌کنند (Na^{23}_{11}) کشف نوترون همچنین سبب شد که توجیهی بس ساده و روشن از ایزوتوپها بیابند. به این مفهوم که تعداد نوترونها، در هستهٔ ایزوتوپها برابر نیست و از یك ایزوتوپ به دیگر ایزوتوپ فرق می‌کندولی چون خواص شیمیایی عناصر را تعداد الکترونهای آخرین مدار تعیین می‌کند، در نتیجه، ایزوتوپهای یك عنصر دارای خواص شیمیایی یکسانی می‌باشند. ولی پرسش بعدی این بود که پروتونها و نوترونها به چه شکلی هستهٔ اتم را تشکیل می‌دهند.

15. Ivanenko 16. Gapon

چون در هستهٔ اتم انرژیها از چند میلیون الکترون ولت تجاوز می کنند برای بررسی ساختمان ذرات بنیادی، فیزیکدانان شتاب‌دهنده های اتمی عظیمی ساخته اند که قادر است به ذرات انرژیها چند میلیارد الکترون ولت منتقل سازد. شتاب دهنده ها، ذرات بنیادی را در میان می گیرند و با کمك میدانهای الکتریکی و مغناطیسی به تدریج به آنها شتاب می‌دهند، تا سرعتشان نزدیك به سرعت نور گردد. به دنبال آن، ذرات تبدیل به گلوله هایی با قدرت تخریبی هولناکی می شوند و هستهٔ اتمهایی را که در مسیرشان قرار می گیرد، می شکنند و متلاشی می‌سازند. قطعات متلاشی شدهٔ هسته، پیدایش ذرات جدیدی را سبب می‌شود، که کمکی ارزنده به کشف قوانین دنیای ذرات بنیادی می کنند.

از سال ۱۹۳۲، که سال کشف نوترون است، تعداد ذرات بنیادی کشف شده، به طور بی‌سابقه ای افزایش یافته است. برخی از آنها را ابتدا در اشعهٔ کیهانی، که از اعماق فضا می‌آید، بدست آورده اند، وبرخی دیگر نیز در شتاب دهنده های اتمی بوجود آمده اند.

در اشعهٔ کیهانی ذراتی را می توان یافت که انرژی شان میلیونها مرتبه بیش از انرژی ذرات در قویترین شتاب دهنده های اتمی است. و درست در این انرژیهای بسیار زیاد است که می توان دست به تحقیق در بارهٔ مادهٔ اولیه سازندهٔ عالم زد.

به دنبال نظریات دیراك، در سپتامبر ۱۹۵۵، آنتی پروتون نیز در مرکز تحقیقات هسته ای برکلی کشف شد. آنتی نوترون بدین گونه بوجود می‌آید که یك پروتون و یك آنتی پروتون به یکدیگر نزدیك می شوند بی‌آنکه تصادمی کنند؛ در این فاصله هر دو ذره بار الکتریکی خود را از دست داده و ضد ذرات خنثی، از جمله آنتی نوترون پدید می‌آورند. (تفاوت ضدنوترون با نوترون معمولی بدیهی است که از نظر بار نیست، زیرا هر دو بار ندارند. تفاوت آنها در تقارن آینه ای است.)

در سال ۱۹۳۴، ایگور تام[17] (۱۸۹۵ـ۱۹۷۱) فیزیکدان شوروی، تئوری **نیروهای اتصال هسته‌ای** راتدوین کرد. این نیرو در هسته اتمها، سبب جمع شدن نوکلئونها می شود، و هستهٔ پایداری را بوجود می‌آورد. به سبب وجود این نیرو، پروتونهای هسته، تبدیل به نوترون می شوند(وبرعکس)$n \rightleftarrows p^{+} + e^{-}$این واکنش سبب می شود که پروتونها و نوترونهای هسته به همزیستی در کنار هم ادامه دهند و از متلاشی کردن هسته بپرهیزند. به عبارتی پروتون و نوترون

17. Tamm

دوجلوه یا دو حالت مختلف از یك ذره اند که نوکلئون نام دارد. هایزنبرگ آنها را اسپین ایزوتوپی نامید، که این نامگذاری نشانهٔ آن است که پروتون و نوترون ایزوتوپ یکدیگرند. به عبارت دیگر آنها صرفنظر از بار الکتریکی، غیر قابل تشخیص از یکدیگرند.

اگر در هستهٔ اتمی، تعداد نوترونهایش بیش از تعداد پروتونها باشد، پایداری هسته با تبدیل تعدادی از نوترونها به پروتون، تأمین می‌شود. $n \longrightarrow p^+ + e^-$

الکترون های تولید شده از این تبدیل نیز، چون جایی در هسته ندارند به صورت تشعشع بتا به خارج هسته منتشر می شوند. اگر در هسته، تعداد پروتونها زیادتر باشد، بخشی از آنها با تشعشع الکترون مثبت یا پوزیترون، تبدیل به نوترون می شوند و پایداری هسته را تضمین می کنند. $P \longrightarrow n + e^+ (\beta^+)$

واکنش نوع اول را تجزیه از طریق بتای منفی، و واکنش نوع دوم را تجزیهٔ بتای مثبت می نامند. ولی ماجرا به همین جا ختم نمی شود. اندازه گیریهای لازم نشان می‌دهند که طیف انرژی الکترون منتشر شده، به جای آنکه منفصل باشد، متصل است و یك باند متصل از صفر تا انرژی ماکزی‌مومی را می‌پوشاند. و حال آنکه، براساس قوانین مکانیك کوانتومی، انرژی الکترون منفصل بوده و ترازهای انرژی مشخص و جدا از یکدیگر را اشغال می کند. مشکل دیگر آن است که در دو واکنش بالا، اتلاف و ناپدید شدن مقداری انرژی نیز بچشم می خورد، و این مخالف اصل بقای انرژی است. این مسئله تا آنجا عجیب بود که نیلزبور تا مرحلهٔ انکار اصل بقای انرژی نیز پیش رفت. بنا بر این تجزیه بتا را نمی توان با روابطی مثل $n \rightarrow P + e$ بیان کرد، بلکه رابطهٔ $n \rightarrow P + e + x$ را باید جانشین آن ساخت. که در آن x ذرهٔ ناشناخته خنثی است که می بایستی وجود آن را قطعی دانست. انریکو فرمی[18] (۱۹۵۴ـ۱۹۰۱) فیزیکدان ایتالیایی این ذره را نوترینو نامید که در زبان ایتالیایی، نوترینی[19] مخففی است برای کلمهٔ نوترون، یعنی نوترون کوچولو. البته امروزه آن ذره را آنتی نوترینو ($\bar{\nu}$) می نامند و عنوان نوترینو خاص ذره ای است که در تجزیهٔ بتای مثبت پدید می‌آید:

$$n \rightarrow P + e^- + \bar{\nu}$$
$$P \rightarrow n + e^+ + \nu$$

آشکار شده است که نوترینو و آنتی نوترینو، همچون فوتون، فاقد جرم در حال سکونند و دارای اسپین نیمه کاملند، و باید در گروه فرمیونها جایشان داد. این دو ذره که نه دارای جرم در

18. Enrico Fermi 19. Neutrini

حال سکون و نه دارای بار الکتریکی اند، بسادگی از چنگ پژوهشگران و دستگاههای دقیق ضبط و به دام انداز ذرات بنیادی فرار می کنند، و قادرند از قشرهای بسیار عظیمی ازماده براحتی عبور کنند. به همین دلیل بیست و پنج سال فاصله میان کشف نظری و کشف تجربی آنها بوجود آمد.

از طرف دیگر به دنبال عرضهٔ معادله دیراك، در سال ۱۹۳۸، **ایوانئکو** فیزیکدان روسی نوعی کامل از معادلهٔ دیراك را پیشنهاد کرد. معادلهٔ ایوانئکو تنها با جمله مرتبه سوم $\lambda \Psi^3$ با معادله دیراك اختلاف دارد. $\lambda \Psi^3$ را مکمل غیرخطی معادلهٔ دیراك می نامند.

$$\Sigma_{\nu=1}^{4} \Upsilon_\nu \frac{\Delta \Psi}{\Delta \times \nu} + \frac{2\pi mc}{h}\Psi + \lambda \Psi^3 = 0$$

این معادله، با همهٔ سادگی ظاهر، قادر است که یك معادلهٔ معمولی را که از واکنشها سخن نمی گوید، تبدیل به معادله ای کند که از واکنشها سخن گوید. بدین گونه در راه شناخت مادهٔ اولیه، قدمی لازم (ولی نه کافی) برداشته شد. زیرا، معادلهٔ ایوانئکو راه حلی ندارد. جملهٔ مکمل این معادله که بیانگر واکنش میان ذرات است، از خصوصیات داخلی آنها چیزی نمی گوید، و امکان تغییری را در آنها پیش بینی نمی کند.

نظریهٔ کوانتومی ـ گرانشی دیراك

فیزیکدانان حدس زده بودند که میدان جاذبه دارای کوانتومی به نام گراویتون است. و چون شعاع اثرگذاری اش تا بی نهایت ادامه دارد بنابراین گراویتونهای نیروی جاذبه نمی توانند دارای جرم در حال سکون باشند.

«در سال ۱۹۵۹ دیراك فرضیه جسورانه دیگری را عرضه کرد، به این شکل که شاید گراویتون از یك زوج نوترینو تشکیل شده باشد. برخی شواهد گویای صحت این مدعایند، که از آن جمله اسپین گراویتون است که به نظر دیراك یك است، و می تواند از مجموع دونوترینو با اسپینهای $\frac{۱}{۲}$ تشکیل شده باشد.»[۲۰]

نیروی جاذبه، $۱۰^{۴۰}$ مرتبه کمتر از نیروی الکتریك است. دیراك دریافت که عمر عالم در واحد زمان هسته ای برابر با همین مقدار است. زمان لازم برای آنکه نور قطر یك نوکلئون هسته

۲۰. تئوری نسبیت (جلد دوم)، اثر کاظم عضوامینیان، انتشارات جیران، صفحه ۲۰۷

را طی کند، 10^{-23} ثانیه است که آن را واحد زمان هسته‌ای می نامیم. در این واحد زمان، عمر عالم، 10^{40} است. آیا نسبت نیروهای الکتریك به نیروی جاذبه، که معادل عمر عالم است پدیده‌ای تصادفی است؟

با توجه به اینکه در طول پیر شدن عالم، فعالیتهای الکتریکی آن کاهش نمی یابد، دیراك نتیجه گرفت که جاذبه رو به کاهش است. زیرا با افزایش عمر عالم بر 10^{40} همواره افزوده می شود، بدون آنکه نیروهای الکتریکی تغییر کند، و به دنبال آن کم شدن نیروی جاذبه راسبب می شود که به نوبهٔ خود، سبب انبساط عالم در طول زمان می گردد.

برخی از فیزیکدانان معتقدند که کاهش جاذبه، باید سبب انبساط کره زمین شود و در نتیجه در هر سال ۰/۵ میلی متر بر قطر زمین افزوده شود.

نظریه کوانتومی ـ مغناطیسی دیراك

در دههٔ ۱۹۵۰ دیراك وجود یك ذره بنیادی مغناطیسی را در عالم پیشگویی کرد. این ذره، مشابه آهن رباست، که دیراك آن را مونوپل یا یك قطبی نامید. وجود همین مونوپل سبب می شود که تئوری الکتریسیته و مغناطیس از تقارن لازم برخوردار شود.

در معادلات **ماکسول** نیز جایی برای مونوپل پیش‌بینی شده است. وقتی معادلات ماکسول را به زبان تئوری نسبی بیان کنیم، احتیاج به مونوپل، بیش از پیش احساس می شود. برحسب پژوهشهای ریاضی انجام شده توسط دیراك، اگر مونوپل وجود داشته باشد، بار مغناطیسی اش کوانتیفیه است. و حاصل ضرب، بار مغناطیسی مونوپل در بار الکتریك به فرض الکترون می باید برابر با عددی باشد که به ثابت پلانك و سرعت نور بستگی دارد. و همچنین کوانتوم بار مغناطیسی ۶۸/۵ برابر کوانتوم بار الکتریکی است. از آنجا که جرم تخمینی مونوپل سه برابر جرم پروتون است، باید سنگینترین ذره در جدول ذرات بنیادی باشد. البته مشابه با ذرات باردار الکتریکی، مونوپل نیز می تواند انواعی گوناگون داشته باشد که برخی سبکتر و برخی دیگر سنگینترند.

یك مونوپل نمی تواند ناپدید شود مگرآنکه با مونوپل دیگری با بار مخالف برخورد کند. بنابراین تولد مونوپل نیز به صورت زوج است. یك مونوپل شمال و یك مونوپل جنوب با هم متولد می شوند (مشابه با تولد زوج الکترون ـ پوزیترون) و انهدام آنها نیز به صورت زوج مونوپل شمال و جنوب انجام می گیرد تا براصل بقاء بار مغناطیسی، خدشه‌ای وارد نیاید.

به هرحال تاکنون نظریه‌پردازان وپژوهشگران موفق به ردیابی این ذره نشده اند. درخاتمه باید گفت که برای حل وحدت میدانهای شناخته شدهٔ جهان باید به دنبال کوانتوم میدان جاذبه رفت تا بدین وسیله همهٔ میدانها راکوانتیزه بیابیم (راه دیراك). و یا اینکه هندسهٔ مناسبی را برای همهٔ میدانها بدست بیاوریم (راه آینشتاین) که البته تاکنون هیچیك از این دو راه به نتیجهٔ مطلوب نرسیده اند.

فصل نوزدهم

مدل اتمی یوکاوا

در برابر این پرسش که چه چیزی پروتونهای مثبت هسته را در کنار هم محکم نگه می‌دارد، فیزیکدانها به این نتیجه رسیده بودند که نوترونها به ناچار باید نقش سیمان نگهدارندهٔ هسته را ایفا کنند. بدیهی است که چون نوترون خنثی است، نیروی نامبرده نمی‌تواند ازنوع نیروهای الکتریکی باشد. دانشمندان در این زمینه به بررسی پرداختند تا اینکه دو سال پس از کشف نوترون یعنی در سال ۱۹۳۵ **هیدکی یوکاوا**[1] (متولد ۱۹۰۷) استاد دانشگاه اوزاکای ژاپن این فرضیه را پیشنهاد کرد، که نیروی هسته‌ای خاصی از نوع داد و ستدی، بین پروتون و نوترون وجود دارد و موجبات پایداری هسته را فراهم می‌سازد.

یوکاوا مدعی شد که نیروی اتصال هسته‌ای دارای کوانتایی است که آن را مزون[2] نامیدند. به عبارت دیگر همان گونه که فوتون در واکنش با الکترون اتمهاست، مزون نیز در واکنش دائمی با نوکلئونها یا هستك‌هاست. در نتیجه از نظر یوکاوا مزونها می‌بایستی مادهٔ چسبندهٔ بین ذرات هسته باشند.

یوکاوا نشان داد که برای توضیح خواص مشهود نیروهای هسته ای از جمله پایداری هسته و با در نظر گرفتن فواصل کوتاه اعمال نیروی هسته ای، باید فرض کرد که این ذرهٔ جدید جرمی میان جرم یك پروتون و جرم یك الکترون داشته باشد. یعنی در حدود ۱۰ بار سبکتر از پروتون و

---

1. Hideki Yukawa 2. Meson

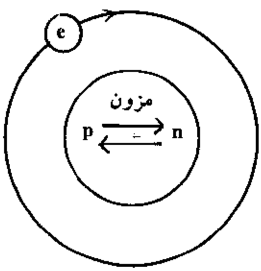
۲۰۰ بار سنگینتر از الکترون. همچنین این ذرهٔ فرضی می تواند دارای بار مثبت یا منفی یا خنثی باشد. در ابتدا به خاطر نام یوکاوا به این ذرهٔ فرضی نام یوکونها را دادند. اما چون جرم این ذره میان دو جرم الکترون و پروتون محاسبه شده بود نام مزون را بر این ذره نهادند (مزون در زبان یونانی به مفهوم میان است). تا اینکه دو سال بعد فیزیکدان آمریکایی **کارل دیوید آندرسون** در سال ۱۹۳۷، وجود ذره های باردار مثبت و منفی را با همین جرم در اشعهٔ کیهانی[۳] کشف کرد که از طبقات بالای جو به زمین فرو می بارند. امروزه جهت دقت بیشتر، مزون یوکاوا را مومزون یا موئون[۴] می نامند که تجزیهٔ دو نوع مثبت و منفی آن به شکل زیر می باشند.

$\mu^{+} \longrightarrow e^{+} + \nu + \bar{\nu}.$ $\qquad \mu^{-} \longrightarrow e^{-} + \nu + \bar{\nu}.$

بدین ترتیب تصویر زیر را از هسته خواهیم داشت: پروتون یك مزون مثبت از دست می‌دهد و به نوترون تبدیل می گردد؛ نوترون نیز مزون مزبور را جذب نموده و به پروتون تبدیل می شود. و یا عکس این واقعه اتفاق می افتد، نوترون با صدور یك مزون منفی به پروتون تبدیل شده و از ترکیب پروتون و مزون منفی نیز نوترون حاصل می گردد.

اما به زودی معلوم شد که مزونهای یوکاوا بنا به دلایلی نمی توانند کوانتای میدان نیروهای اتصال هسته ای باشند. از جمله اینکه اشتهای هسته برای خوردن مزونها چندین میلیون بیلیون کوچکتر از آن است که برای یك نیروی تبادل قوی لازم است، و اگر نیروهای میان پروتونها و نوترونها به یك تبادل همیشگی مزونهای مابین آنها مربوط هستند، پس می بایستی این فعل و انفعال برقرار باشد.

$p^{+} + \mu^{-} \longrightarrow n^{\circ} + \nu^{\circ}$

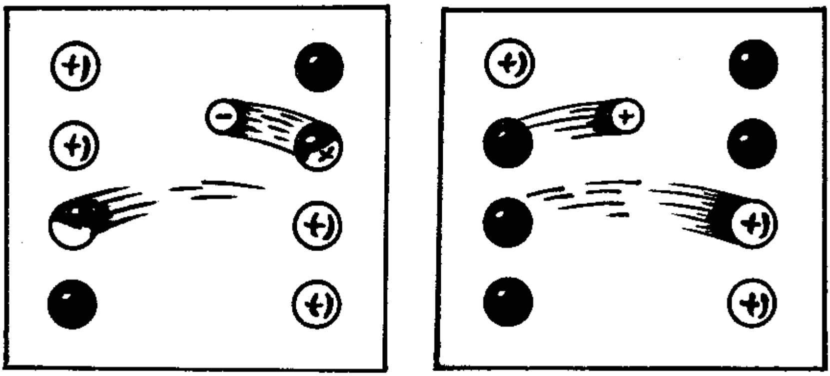


شکل ۱۹ـ۱. «مدل اتمی یوکاوا»

---

3. Cosmic Rays 4. Muon

از روی شدت نیروهای هسته ای می توان تخمین زد که این فعل و انفعال باید فعل و انفعال بسیار سریعی باشد، که تنها $۱۰^{-۲۲}$ ثانیه طول بکشد. ولی از آنجا که تلاشی طبیعی مزون حدود $۱۰^{-۶}$ ثانیه طول می کشد، درعمل همهٔ مزونها باید خیلی زودتر از آنکه فرصت یك مرگ طبیعی را بدست بیاورند توسط هسته بلعیده شوند. حداکثر یك مزون ازمیان $۱۰^{۱۶}$ مزون، پیش از آنکه هسته ها آن را بخورند، احتمال تجزیه و تبدیل شدن به یك الکترون و دو نوترون را دارد. بنابراین هیچ الکترون منفی نباید از تکه جسم کُند کنندهٔ مزونی به خارج دفع شود. ولی مدارك تجربی آشکارا با این نتیجه گیری ناسازگار است. با آنکه تعداد الکترونهای منفی که ازجسم کندکنندهٔ مزونی بیرون افکنده می شوند، در بعضی موارد دو بار و در بعضی موارد ده بار کوچکتر از تعداد الکترونهای مثبت بود. اما به یقین $۱۰^{-۱۶}$ بار کوچکتر نبود. مفهوم این مطلب آن است که هسته های اتم دیگر توجهی بیش از آنچه سگ به یونجه دارد به مزونهای کشف شده نداشتند. در نتیجه ساکاتا فیزیکدان ژاپنی و دانشمندان آمریکایی بت و مارشاك، وجود مزون دیگری را پیش بینی کردند، که مأموریت کوانتایی انرژی بین هستکهای هسته را داراست.



ب الف

شکل ۱۹ـ۲. بنابه تئوری یوکاوا، نیروی جاذبه هسته ای توسط ذراتی حمل می شود که مزون نام دارند. در شکل بالا مراحل مختلف تبادل مزون‌ها را نشان داده‌ایم. در شکل «الف» پروتون، با انتشار یك مزون مثبت تبدیل به نوترون می شود. نوترون نیز به نوبهٔ خود باجذب مزون مثبت تبدیل به پروتون می شود. درشکل «ب»، نوترون با انتشار یك مزون منفی، تبدیل به پروتون می شود و پروتون نیز، با جذب مزون منفی، تبدیل به نوترون می شود.

فصل بیستم

مدل اتمی پاول

مزونهای یوکاوا کجا هستند؟ آزمایشهای زیادی پیرامون هسته‌های رادیواکتیو به منظور یافتن این ذرات اسرارآمیز به عمل آمد، ولی هیچ اثری از آنها یافت نشد. به همین دلیل فیزیکدانها به منبع سرشار ذرات بنیادی، یعنی پرتوهای کیهانی روی آوردند. در آن موقع براساس محاسبات یوکاوا، جرم مزون در حدود ۲۰۰ برابر الکترون در نظر گرفته می‌شد، اما مزونها از هرگونه برخوردی با هسته‌ها خودداری می‌کردند و با نوترونها چندان اختلافی نداشتند و با پروتونها، در چارچوب روابط متقابل الکتریکی روبرو می‌شدند. لذا فیزیکدانها تردید کردند که این ذره همان چیزی باشد که در انتظارش بودند. آنها ذره‌ای پر انرژی می‌خواستند که خیلی شدید با پروتون و نوترونها ترکیب شود و بین آنها رد و بدل گردد.

اولین رآکتورها و بمبهای اتمی ساخته شدند ولی بازهم این ذرهٔ اسرارآمیز و کوچك رخ نمی‌نمود. تا اینکه سرانجام در سال ۱۹۴۷ **سیسیل فرانك پاول**[1] (۱۹۶۹ـ۱۹۰۳) فیزیکدان انگلیسی و همکارانش **اکشیالینی**[2] از ایتالیا و **لاتزا**[3] (لاتس) از برزیل بر صفحهٔ عکاسی رد ذرهٔ جدیدی را یافتند که در اشعهٔ کیهانی وجود داشت. این ذره، بازهم مزون بود ولی جرم آن به جای اینکه ۲۰۷ برابر جرم الکترون باشد ۲۷۳ برابر آن بود. مزون اخیر را برای تشخیص دادن ازمزون قبلی، پی‌مزون[4] نام نهادند. پی مزون یا پیون با ذرات هسته‌ای خیلی شدید برخورد

1. Powel 2. Occhialini 3. Lattes 4. Pi-Meson

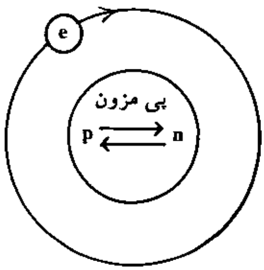
می کرد و حتی انرژی آن به اندازه ای بود که می توانست هسته ای را که با آن روبرو می شود، متلاشی نماید. و بدین گونه بود که کوانتوم میدان نیروهای اتصال هسته ای کشف شد.

$\pi^+ \longrightarrow \mu^+ + \nu.$ $\qquad$ $\pi^- \longrightarrow \bar{\mu} + \bar{\nu}.$

در سال ۱۹۵۰ نیز پی مزون صفر، یا پیون خنثی با جرم ۲۶۴ برابر جرم الکترون و بدون بار الکتریکی کشف شد که به دو فوتون تجزیه می شود. $\pi^\circ \longrightarrow 2\gamma$

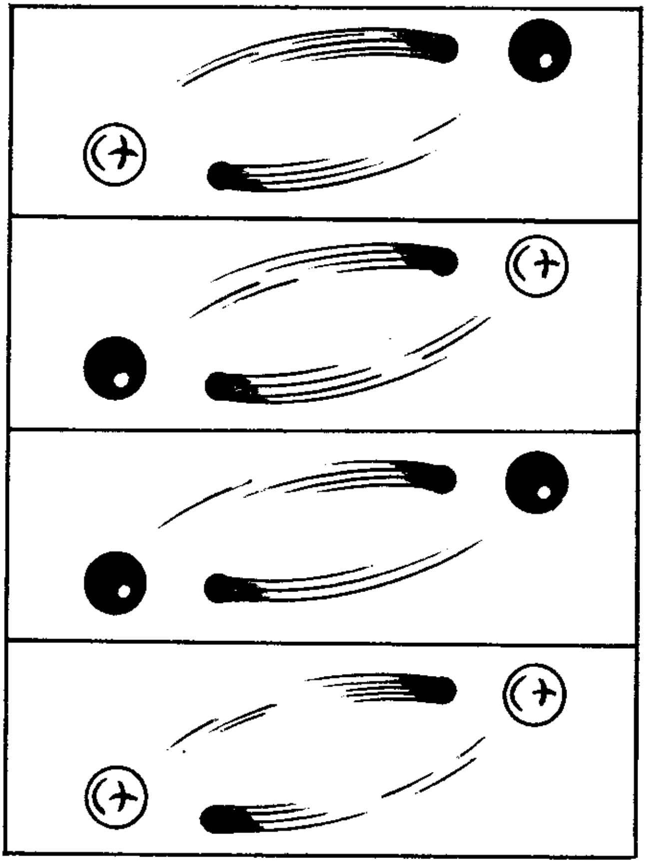
فوتونهای تولید شده در برخورد با هسته، قادرند زوج الکترون ـ پوزیترون بوجود آورند و همین واکنش بود که سبب کشف پیون خنثی گردید. پیونها برخلاف ذرات دیگر خیلی شدید با نوکلئونهای هسته در واکنش و ارتباط هستند، و بسادگی توسط هسته جذب می شوند، که در شرایط مناسبی هسته نیز آنها را منتشر می سازد. به همان گونه که ذرات باردار را میدان الکترومغناطیسی فوتونها احاطه کرده است، پیونها قادرند واکنشهای هسته ای بسیار قوی تولید کنند.

از نظر پاول این پی مزونها هستند که پروتونها و نوترونها را در هسته نزدیك به هم نگه داشته و پایداری هسته را ایجاد می نمایند.



شکل ۲۰ـ۱. «مدل اتمی پاول»

بنا به عقیده برخی از فیزیکدانها، هستکها مشابه با سیارهٔ مریخ هستند. به این شکل که قسمت مرکزی آنها را ابری از پیون یا پوشش مزونی احاطه کرده است. اگر داخل این پوشش مثبت، و پوشش نیز از پی مزونهای خنثی تشکیل شده باشد، نوکلئون یا هستك از نوع پروتون است. و اگر داخل این پوشش مثبت و پوشش نیز از پی مزونهای منفی تشکیل شده باشد، نوکلئون از نوع نوترون است.



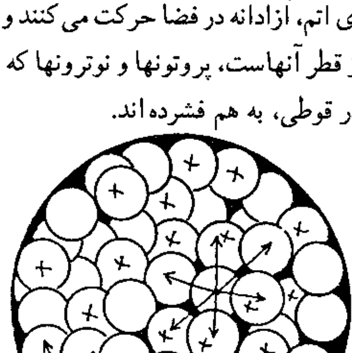
شکل ۲۰ـ۲. چگونگی تبادل نیروهای هسته‌ای توسط مزونهای π بین نوکلئونهای هسته. تبادل نیرو بین دو پروتون، یا دو نوترون، توسط مزون خنثی π باید انجام گیرد. تبادل نیرو بین پروتون و نوترون و یا نوترون و پروتون، توسط مزونهای مثبت یا منفی π انجام می گیرد.

فصل بیست و یکم

هسته اتم

الف ـ مدل لایه‌ای هسته

در حالی که الکترونهای اتم، آزادانه در فضا حرکت می کنند و فواصلی نسبت به هم دارند که چند هزار برابر بزرگتر از قطر آنهاست، پروتونها و نوترونها که هسته[1] را تشکیل می‌دهند، همچون ماهیهای ساردین در قوطی، به هم فشرده‌اند.



شکل ۲۱ـ۱. هستهٔ اتم

«هستهٔ اتمی که از پروتونها و نوترونها تشکیل یافته است. آنهایی که در داخل هستند تحت تأثیر نیرویی قرار نمی گیرند، در صورتی که آنهایی که برسطح آن هستند به درون کشیده می‌شوند.»

1. Nucleus

برخی از فیزیکدانها معتقدند که هستکها[2] یعنی پروتونها و نوترونها در داخل هسته، نظیر الکترونها در اتم، در مدارهای مختلفی حرکت می کنند. ولیکن در مقایسه با الکترونها، مدارهای حرکت هستکها بخوبی مشخص نشده و ماهیت آنها بخوبی درك نشده اند. از آنجا که نیروی بین هستکها به مراتب قویتر از نیروهای بین الکترونها و هسته می باشد، در نتیجه انرژی بین ترازها در هسته ها به مراتب بزرگتر از انرژی بین ترازها در اتمها می باشد. هسته های تحریك شده ممکن است با تابش فوتونی (به انرژیی برابر با اختلاف بین تراز اولیه و تراز انتهایی) به تراز پایین تر برود. این فوتونهای پر انرژی را اشعهٔ گاما می نامند. که این اشعهٔ گاما در مسیر خروج از اتم ممکن است الکترونی را هم با خود از اتم خارج نماید. (پیشتر دیدیم که در جابجایی الکترون از مداری به مدار پایین تر، ممکن است اشعه ایکس تابش شود.)

برای اتمهایی که عدد اتمی یا تعداد پروتونهایشان بیش از عدد ۲۰ است تعداد نوترونها بیشتر از تعداد پروتونها می باشد. این نوترونهای اضافی برای پایداری هسته های سنگینتر لازم اند. در این حالت نوترونهای اضافی شبیه ماده چسبان و یا مادهٔ عایقی جهت خنثی کردن نیروی دافعه بین پروتونها می باشد. پیداست که فقط ترکیب معینی از نوترونها و پروتونها باعث پایداری هسته می شود. اگر در برابر تعداد معینی از پروتونها، تعداد نوترونها خیلی کم یا خیلی زیاد باشد، هسته حاصله پایدار نبوده و تجزیه رادیواکتیو می شود. برای مثال ایزوتوپهای اکسیژن که دارای تعداد نوترونهای ۸و۹و۱۰ می باشند پایدار، ولی ایزوتوپهای ۵و۶و۷و۱۱و۱۲ آن رادیواکتیو هستند.

هسته هایی که کمبود نوترون دارند از طریق تجزیهٔ بتای مثبت، خود را پایدار می سازند. یعنی یکی از پروتونهای هستهٔ آنها به نوترون و پوزیترون ونوترینو تجزیه می شود.

$$P \longrightarrow n + e^{+} + \nu$$

مانند هستهٔ ناپایدار اکسیژن ۱۶ که به هستهٔ پایدار ازت ۱۵ تبدیل می شود. در مقابل، هسته هایی که دارای نوترون اضافی هستند، تجزیه بتای منفی انجام می دهند، و یك الکترون و یك آنتی نوترینو تابش می کنند.

$$n \longrightarrow P + e^{-} + \bar{\nu}$$

«همچنین هسته هایی که با کمبود نوترون مواجه هستند، می توانند با جذب الکترون تعداد نوترونهایشان را زیاد کنند، در این عمل یکی از الکترونهای اتم با یکی از پروتونهای هسته

2. Nucleon

برخورد می کند، که از ترکیب آنها یك نوترون بوجود می آید. این عمل باعث می شود تا یك جای خالی در ابر الکترونی اطراف اتم پدید آید که به زودی به وسیله یکی از الکترونهای دیگر پر می شود. این عمل منجر به تابش اشعه ایکس می شود. به طور معمول چون الکترونی که به وسیلهٔ هسته، جذب می شود از داخلی ترین لایهٔ الکترونها، یعنی لایه k می باشد بنابر این، این عمل را جذب k می نامند. از آنجا که هسته دختر، حاصل از جذب الکترون همان هسته حاصل از تجزیهٔ بتای مثبت می باشند، اغلب این دو عمل با یکدیگر رقابت می کنند.»[۳]

$$e + P \longrightarrow n \nearrow x$$

«طریق دیگر که بعضی از هسته های ناپایدار تجزیه رادیواکتیو انجام می دهند تابش ذرات آلفاست. (شامل دو پروتون و دو نوترون که همان هسته هلیوم است.) تابش ذرهٔ آلفا باعث کاهش عدد اتمی به اندازهٔ دو واحد و جرم اتمی به اندازهٔ چهار واحد می شود. برای مثال اورانیوم ۲۳۸ با تجزیهٔ آلفا به توریوم ۲۳۴ تبدیل می شود.»[۴]

$$U\ {}^{238}_{92} \longrightarrow Th\ {}^{234}_{90} + He^{4}_{2}$$ (اشعه آلفا)

تجزیهٔ آلفا، از هسته های سبك خیلی به ندرت رخ می‌دهد. اما در هسته های سنگین متداول است. بر خلاف طیف انرژی ذرات بتا، طیف ذرات آلفا به صورت خطی می باشد. هسته های حاصل از تجزیهٔ بتا یا جذب الکترون یا تجزیه آلفا نیز اغلب پس از تبدیل در حالت تحریك قرار گرفته و در نتیجه، یك یا چند پرتو گاما تابش می نمایند.

جرم تمام هسته ها کمی کمتر از مجموع جرم نوترونها و پروتونهای تشکیل دهنده آنهاست. این کسر جرم برابر با انرژی لازم جهت یکپارچه نگه داشتن هستهٔ اتم است، که به انرژی بستگی یا انرژی پیوندی[5] موسوم است.

از طرف دیگر، یك هسته هم هنگامی که به هستکهای خود تجزیه می شود همین مقدار انرژی را آزاد می نماید. «انرژی بستگی کل هسته ها تابع فزاینده ای از عدد جرمی (A) اتم است. اما این انرژی با یك نسبت ثابت افزایش نمی‌یابد. با توجه به منحنی شکل ۲۱ـ۲ هسته های با انرژی بستگی کم را می توان بآسانی شکست. در نتیجه هنگام تشکیل هسته نیز

---

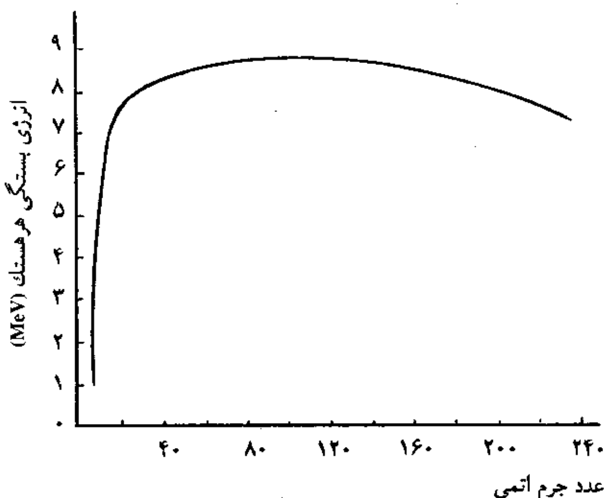
۳. مقدمه ای بر مهندسی هسته ای، جان، آر، لامارش، ترجمه علی پذیرنده، انتشارات دانشگاه تهران، صفحه۲۳

۴. مقدمه ای بر مهندسی هسته ای، جان، آر، لامارش، صفحه های ۲۳ و ۲۴

5. Binding Energy

انرژی کمتری آزاد می‌شود.»[6]

در ناحیه هسته‌های با جرم اتمی بزرگ از شکسته شدن یك هسته به دو قسمت هسته‌های پایدارتری به وجود می‌آید. زیرا که انرژیهای پیوندی هسته‌های با عدد جرمی بیش از ۵۰، با افزایش عدد جرمی کم می‌شود. این بدان معنی است که نظام هستکها وقتی پایدارتر است که یك هسته سنگین شکسته شود، مانند شکسته شدن هستهٔ اورانیوم در نیروگاههای اتمی که به عمل شکافت یا فیسیون[7] معروف است.



شکل ۲۱ـ۲. منحنی انرژی بستگی هسته‌ها

از طرفی در هر واکنش که بتوان از ترکیب دو هستهٔ نیم پایدار، یك هستهٔ پایدارتر بوجود آورد، مقداری انرژی در عمل آزاد می‌شود. برای مثال وقتی دو تا دوترون (از ایزوتوپهای هیدروژن) هریك با انرژی ۲/۲۳ میلیون الکترون ولت (Mev) با هم برخورد کنند، ایزوتوپ H^3 را با انرژی بستگی کلی ۸/۴۸ Mev بوجود می‌آورند $2H^2 \rightarrow H^3 + H^1$ که ازدیاد خالص انرژی بستگی دستگاه برابر است با: (Mev) ۸/۴۸−۴/۴۶=۴/۰۲ در این حالت این

۶. مقدمه‌ای بر مهندسی هسته‌ای، جان، آر، لامارش، صفحه‌های ۳۴ و ۳۵

7. Fission

انرژی به صورت انرژی جنبشی هسته های تولید شده H^3 و H^1 درمی آید. چنین واکنشهایی را که در آنها حداقل یکی از هسته های حاصل سنگینتر و پایدارتر از دو هسته سبکتر و کم پایدارتر است، واکنشهای گداخت یا فیوژن[8] می نامند.

هیدروژن خورشید نیز به طور پیوسته از طریق فیوژن به هلیوم تبدیل شده و گرمای بسیار زیادی را نیز ایجاد می کنند.

$$H_1^1 + H_1^1 \longrightarrow D_1^2 + e^+ + \nu$$

$$D_1^2 + H_1^1 \longrightarrow He_2^3 + \gamma$$

$$He_2^3 + He_2^3 \longrightarrow He_2^4 + 2H_1^2$$

چون برای واکنشهای فیوژن حرارت و فشار بسیار زیادی لازم است، به همین دلیل بمبهای هیدروژنی حامل یك بمب اتمی هستند که از هیدروژن سنگین (دوتریوم) و هیدروژن فوق سنگین (تری تیوم) احاطه شده است. در ابتدا بمب اتمی منفجر شده و سپس شرایط لازم حرارت و فشار برای انفجار هیدروژنی آماده می شود.

به هرحال یك روزممکن است منابع نامحدود انرژی را ازطریق فیوژن یا واکنش حرارتی-هسته ای[9] بدست آورد. با آنچه که گفته شدمی توان نتیجه گرفت که درعمل شکافت، انرژی به وسیلهٔ تجزیهٔ هسته بدست می آید، در صورتی که در عمل گداخت، هسته ها با هم ترکیب می شوند. در شکافت، کنش و واکنشهای زنجیره ای به وسیله نوترونها، که هیچ بار الکتریکی ندارند، انجام می شود. و چون هیچ نیرویی از هسته به نوترونها وارد نمی شود، آنها بآسانی وارد هسته هایی مانند اورانیوم می گردند. ولی در گداخت، ذرات باید به هم جوش بخورند در نتیجه ذرات سنگینتر با جرم کمتر از جرم مجموع ذرات اولیه تولید می شود، که این تفاوت جرم به انرژی بسیار عظیمی تبدیل می گردد.

«در پدیدهٔ گداخت، هستهٔ اتمها با سرعت بالایی که بر اثر گرمای خیلی زیاد کسب می کنند با هم برخورد می نمایند و عمل ترکیب انجام می شود. با این سرعت زیاد، انرژی جنبشی ذرات، سد پتانسیلی را که در اثر نیروی کولونی بوجود آمده است خنثی می کنند (زیرا که بار مثبت هسته ها در شرایط معمولی باعث رانش هسته ها از هم می شود). کشف گداخت ازسالهای ۱۹۳۰ به بعد صورت گرفت و برای نخستین بار این پدیده در شتاب دهنده ذرات

8. Fusion 9. Thermo-Nuclear

مشاهده شد.»[۱۰]

معلوم شده است، هسته‌هایی که تعداد نوترونها یا پروتونهای آنها ۲،۶،۸،۱۴،۲۰، ۲۸، ۵۰، ۸۲ یا ۱۲۶ می باشد، دارای پایداری ویژه ای هستند. این اعداد و این گونه هسته ها را اسرارآمیز یا ماژیك[۱۱] می نامند. این اعداد که مربوط به تعداد نوترونها یا پروتونهای لازم برای پر کردن قشرها یا لایه‌های هستکها از هسته به شمار می‌روند، مشابه با تعداد الکترونهای اتمهای کامل و خنثی هستند. وجود هسته‌های ماژیك دارای نتایج عملی زیادی در مهندسی هسته‌ای است. برای مثال هسته‌هایی که تعداد نوترونهایشان برابر با یکی از اعداد ماژیك است، نوترون را خیلی کم جذب می کنند.

مطالعهٔ بسیاری از بی نظمی های هسته ای به این نتیجه گیری رسیده است که در هسته های ماژیك، پوسته های فرضی هسته سخت به یکدیگر فشرده می شوند. در حالی که پوسته های الکترونی همگی خارج از یکدیگرند و تشکیل یك ساختمان پیازی شکل را می‌دهند. اما در مورد هسته‌های ماژیك پوسته‌های نوترونی و پروتونی در هم فرو می‌روند و هریك از آنها تمام فضای هسته‌ای را اشغال می کنند. این عدم تمایز هندسی میان پوسته‌های هسته‌ای ازشدت تأثیر آنها می کاهد و مطالعه و توضیح آنها را دشوارتر می کند. تا اینکه **ماریاگوپرت ـ مایر**[۱۲] (۱۹۰۶ـ۱۹۷۲) از آمریکا و **هانس ژنسن**[۱۳] (۱۹۰۷ـ۱۹۷۳) از آلمان همزمان با یکدیگر این اشکال را از میان برداشتند و هر دو توانستند منظومهٔ کاملی از پوسته‌های هسته‌ای بسازند که باواقعیتهای مشهود سازگار درآید.

ب ـ مدل قطره‌ای هسته

در پی مدل لایه‌ای هسته، عده‌ای از فیزیکدانان همانند **جورج گاموف**[۱۴] (۱۹۰۴ـ۱۸۶۸) مواد هسته‌ای را به قطره مایعی تشبیه می کنند که در آن مولکولها به وسیلهٔ نیروهای چسبندگی به هم متصلند.

چگالی هسته به نسبت 10^{14} مرتبه بیشتر از چگالی آب است، ویك ظرف معمولی که از آن پر شده باشد، چند بیلیون تن وزن دارد. کشش سطحی سیال هسته‌ای بی‌اندازه بزرگتر از

۱۰. گداخت، چشمه انرژی فردا، اثر مسعود نراقی، انتشارات سازمان انرژی اتمی ایران، صفحه ۱۰

11. Magic 12. Maria Goeppert-Mayer 13. J. Hans D. Jensen 14. Gamov

کشش سطحی سیالهای معمولی است. به علت همین کشش سطحی است که هسته های اتم مثل قطرات باران، شکلی بسیار نزدیك به شکل کره دارند. ارتعاشات و دورانهای این قطره های کوچك باید جوابگوی نشر اشعهٔ گاما بر اثر تحریك هسته ها باشند. اما جان ویلر،[15] فیزیکدان آمریکایی معلوم داشته است که سیال هسته ای ممکن است به شکل کره های کوچك نباشد، بلکه می تواند اشکالی مختلف را بپذیرد. در این مورد نکتهٔ مهم این است که علاوه بر نیروهای چسبندگی هسته ای، نیروهای دافعهٔ کولونی نیز میان بارهای الکتریکی مثبت پروتونها وجود دارد که بر عکس نیروهای کشش سطحی سعی بر انبساط حجم هسته دارند.

از آنجا که نیروهای کشش سطحی متمایل به این هستند که قطره های مایع را یکپارچه نگاه دارند، و دو قطره ای را نیز که با هم تماس پیدا می کنند به صورت یك قطره بزرگتر درآورند؛ باید انتظار داشت که در مورد عناصر سبك در فرایندهای همجوشی هسته ای انرژی آزاد شود. از طرف دیگر در مورد هسته های سنگین، نیروهای کولونی برتری خود را خواهند داشت، و فرایند همجوشی هسته ای یك فرایند انرژی زا خواهد بود. محاسبات نشان می دهد که ناحیهٔ همجوشی تا حدود یك سوم راه جدول مندلیف (از سنگینترین عناصر رو به عناصر سبك) گسترش یافته است. و هر چه به حد این ناحیه نزدیکتر می شویم، آزاد شدن انرژی مورد انتظار رفته کوچکتر می شود.

اگر بخواهیم کمی دقیق تر مطلب را بیان کنیم باید بگوییم که پیدا کردن تعریفی برای ابعاد اتم به علت ابر الکترونی اطراف آن که بعد مشخصی ندارد تا اندازه ای مشکل است. زیرا که الکترونها گاهی ممکن است از هسته دور شوند و گاهی از نزدیکی هسته عبور کنند از این نظر اندازهٔ معقول یك اتم فاصلهٔ متوسط بین هسته ودورترین الکترونی است که در اطراف اتم پیدا می شود. جز چند اتم سبك، این شعاع متوسط تا حدودی برای تمام اتمها یکی است: یعنی حدود ۲×۱۰^{-۸} سانتی متر. از آنجا که تعداد الکترونهای دور اتم باا افزایش عدد اتمی زیاد می شود واضح است که دانسیته متوسط الکترونی در ابر الکترونی اطراف هسته نیز افزایش می یابد.

«هسته نیز شبیه اتم دارای یك مرز خارجی مشخص نیست. سطح آن مانند سطح اتم، منتهی با میزان کمتری تغییر می کند. اندازه گیری پراکندگی نوترون در برخورد باهسته ها نشان

15. John Wheeler

می‌دهد که با تقریب درجه اول، هسته را می توان کره ای در نظر گرفت که شعاع آن از رابطه زیر بدست می‌آید: $R=1/25\times10^{-13} A^{\frac{1}{3}}$

که R بر حسب سانتی متر و A عدد جرم اتمی است. از آنجا که حجم یك کره نیز متناسب با مکعب شعاع است. یعنی: $V=\frac{4}{3}\pi R^3$

بنا بر این حجم یك هسته متناسب با A می باشد. این هم بدان معنی است که نسبت A/V یعنی تعداد هستکها در واحد حجم برای هسته‌ها عدد ثابتی است. این یکنواختی دانسیته یا چگالی ماده هسته ای نشان می‌دهد که هسته‌ها شبیه قطرات مایع می باشند که بستگی به بزرگی و کوچکی هسته ندارد.»[۱۶]

با اینکه مدل لایه‌ای کمك زیادی به شناسایی هسته و خواص آن کرده است ولی مدل قطره ای نیز جوابگوی مسائل بسیاری است، که درچارچوب مدل قبلی بی‌پاسخ می‌نمودند. حقیقت آن است که اگر لایه‌های هسته‌ای براستی موجود باشند، با لایه‌های الکترونی اتم اختلاف زیادی خواهند داشت.

«تصور لایه برای هسته، تا حدودی غیرطبیعی بنظر می‌رسد. زیرا در درجهٔ اول در هسته قسمت مرکزی موجود نیست، که ذرات در اطراف آن قرار گیرند. در ثانی گروههای تکمیل شده هسته‌ای با گروههای تکمیل یافته الکترونی متفاوتند. و سرانجام لایه‌های هسته‌ای از دو نوع ذرهٔ پروتون و نوترون اشغال می گردند.»[۱۷]

در مورد هسته‌های سبك که از تعداد ناچیزی ذرات هسته‌ای تشکیل شده‌اند، اصطلاح لایه، چندان اشتباه نیست. ولی در هسته‌های بزرگ، ترازهای انرژی، جَدایی خود رااز دست می‌دهند، و هسته از نظر ساختمانی تا حدودی یکنواخت می گردد. در این حالت به خاطر فراوانی ذرات هسته‌ای ابرهای آنها درهم فرو می‌رود و حرکت مشخصی برای آنها قابل تصور نیست. به این جهت ذرات اخیر، از قوانین کوانتا متابعت نخواهند کردو شباهت ترازهای هسته و اتم پایان می‌یابد.

«در سال ۱۹۳۸ سه پژوهشگر آلمانی **اتوهان،**[۱۸] **فریتز اشتراسمان** و **لیز مایتنر**[۱۹] با

---

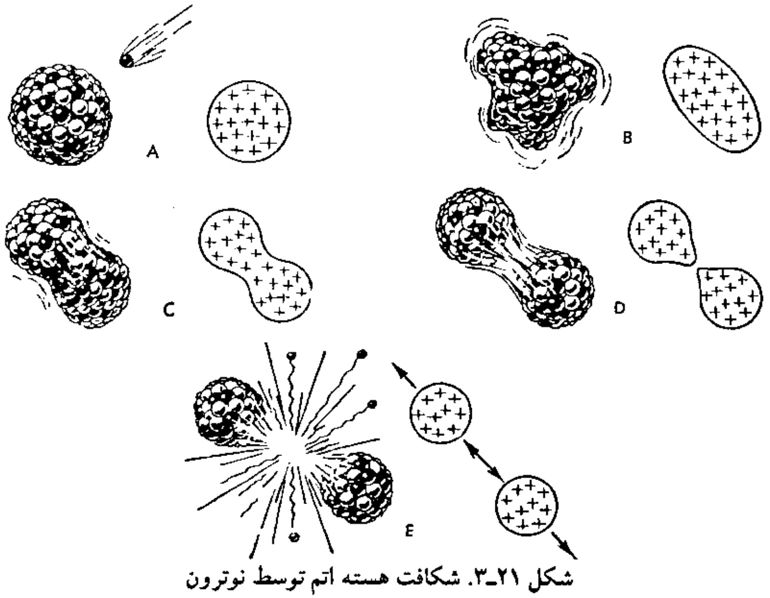
۱۶. مقدمه‌ای بر مهندسی هسته‌ای، جان، آر، لامارش، ترجمه علی پذیرنده، انتشارات دانشگاه تهران، صفحه۱۳

۱۷. الفبای مکانیك کوانتا، اثر ویتالی رایدنیك، ترجمه مجتبی جعفرپور، انتشارات گوتنبرگ، صفحه ۱۸۳

18. Otto Hahn 19. Lise Meitner

بمباران هسته های اورانیوم با يك دسته نوترون، ظهور هسته باریوم و تکنتیوم را مشاهده کردند. جرم اتمی باریوم وقتی به جرم اتمی تکنتیوم افزوده می شد، برابر بود با جرم اتمی اورانیوم. بنابراین در اثر برهمکنش نوترونها، هسته اتم اورانیوم شکافته می شد. بدین گونه، آنها کشف کردند که برخی از فرآورده های تاباندن نوترون بر اورانیوم، دارای جرم کمتری هستند که غالباً به نصف جرم اتمی اورانیوم می رسند. در این هنگام معلوم شد که نه تنها ذره ای از اتم خارج نشده، بلکه اتم شکافته شده است.»[۲۰]

بور، **جان ویلر**، **فرمی** و عدهٔ دیگری از فیزیکدانان در پی تفسیر واکنش بالا براساس مدل قطره ای هسته دریافتند که بر اثر اصابت نوترون به هسته، آن را به ارتعاش درآورده و شکل آن راکشیده تر می کند. تعادل میان کشش سطحی و نیروهای الکتریکی به هم می خورد. نیروهای کشش سطحی سعی می کنند که هسته را به شکل کروی آن بازگردانند و حال آن که نیروهای الکتریکی می خواهند دامنهٔ شکل را افزایش دهند. هرگاه نسبت بین محورهای بلند و کوتاه بیضی واره از حد معینی تجاوز کند، شکافی در امتداد سطح استوایی آن پدید می آید و هسته به طور کامل دو پاره می شود.



شکل ۲۱ـ۳. شکافت هسته اتم توسط نوترون

۲۰. مجلهٔ دانشمند، ویژه نامه فیزیك، خرداد ۶۵، صفحه ۱۲۰

به زودی دریافتند که در شکافت هر هستهٔ اورانیوم دو نوترون نیز دفع می شود (به طور متوسط بیشتر از ۲/۵ نوترون در هر شکافت). این نوترونها نیز به نوبهٔ خود ممکن است به هسته های دیگر اصابت کرده آنها را نیز بشکافانند. در این صورت چهار نوترون به همراه انرژی گرمایی بیشتری تولید می شود، که نوترونهای حاصله نیز خواهند توانست چهار هستهٔ دیگر را نیز مورد اصابت قرار دهند. بنابراین فعل و انفعالی زنجیره ای پدید می آید که به سرعت تمامی تکه اورانیوم را فرا می گیرد، که حاصل آن در کل آزاد شدن مقدار عُظیمی انرژی هسته ای است.

اورانیوم طبیعی شامل ۹۹/۳٪ اورانیوم ۲۳۸و۰/۷٪ اورانیوم ۲۳۵ است، که تنها اورانیوم ۲۳۵ اشتهای شدیدی به نوترون دارد. «با این همه راه انداختن فعل و انفعال در اورانیوم طبیعی توسط **انریکو فرمی** فراهم شد. که براساس اصل کندسازی[21] بنا شده بود.

در آن زمان می دانستند که ایزوتوپهای سنگین اورانیوم اشتهای زیادی به جذب نوترونهای تند وسریع دارند. حال آنکه ایزوتوپ سبك، نوترونهای کندرو را ترجیح می دهد. از آنجا که نوترونهایی که در شکافت هسته ای اورانیوم نشر می شوند سرعت بسیار زیادی دارند، لازم بود که سرعت آنها به سطح اشتهای اورانیوم ۲۳۵ کاهش داده شود، تا اورانیوم ۲۳۸ نتواند آنها را ببلعد. انجام دادن این کار با مخلوط کردن اورانیوم طبیعی با مقدار زیادی مواد کندساز[22] امکان یافت. کندساز یعنی عنصری که اتمهای آن چون گرایشی به جذب نوترونها ندارند، قسمتی از انرژی جنبشی نوترونی را از فرایند تصادم دور نگاه می دارند.»[23] معلوم شده است که ایزوتوپ سنگین هیدروژن و اتم کربن از بهترین کندسازهایند.

نخستین پیل اتمی که در آن از کندساز کربنی (آجرهای گرافیت) استفاده شده بود توسط گروهی، زیرنظر فرمی در دانشگاه شیکاگو ساخته شد و در دوم دسامبر ۱۹۴۲ بکار افتاد. بدیهی است که فعل و انفعال زنجیری هسته ای در پیلهای کند شده به کندی پیش می رود و انرژی تولید شده نمی تواند نه به مصارف جنگی و نه به مصارف عادی برسد. اما پلوتونیوم حاصل از این واکنشها از اورانیوم ۲۳۵ به مراتب نوترون خواهی شدیدتری را دارد. ودر اثر اصابت نوترونی به آن آسانتر شکسته می شود و شکافت آن، نوترونهای فرعی بیشتری همراه دارد (به طور متوسط در هر بار ۲/۹ نوترون)، و از طرفی چون پلوتونیوم خواص شیمیایی متفاوتی با اورانیوم دارد بآسانی می توان پس از اتمام فعل و انفعالات پیل اتمی، آن را از بقیه اورانیوم جدا ساخت.

21. Moderation 22. Moderator

۲۳. سرگذشت فیزیك، اثر جورج گاموف، ترجمه رضا اقصی، انتشارات سکه، صفحه ۲۵۹

$$U^{238}_{92} + n^{1}_{0} \longrightarrow U^{239}_{92} + \gamma$$
$$U^{239}_{92} \longrightarrow Np^{239}_{93} + \bar{e}$$
$$Np^{239}_{93} \longrightarrow Pu^{239}_{94} + \bar{e}$$

بدین وسیله از یك طرف بمب اتمی ساخته شد و از طرف دیگر رؤیای کیمیاگران مبنی بر تبدیل عناصر به یکدیگر تا حدودی به واقعیت پیوست.

بنابه اهمیت کارفرمی و همکارانش مطالب بالا را با توجه به یادداشتهای لارافرمی (**همسر** فرمی) و لئونا مارشال (همکار فرمی) به طور دقیقتر بیان می کنیم: آنچنان که می‌دانیم در **سال** ۱۹۱۹، **راترفورد** از اشعهٔ آلفا (متصاعد شده از رادیوم) برای شکافتن اتم ازت استفاده نمود. سپس در سال ۱۹۳۲ **چادویك**، برلیوم را با اشعهٔ آلفا بمباران کرد و کربن و نوترون را بدست آورد. در همین راستا **ژولیو و ایرن کوری** نیز در سال ۱۹۳۳ با کمك دستگاههای شتابدهنده، ذرات آلفای شتاب داده شده را بر آلومینیم تاباندند و فسفر رادیواکتیو بدست آوردند (رادیواکتیویتهٔ مصنوعی).

با رسیدن خبر کشف رادیواکتیویتهٔ مصنوعی به محافل علمی جهان، **فرمی** در سال ۱۹۳۴ بر آن شد که همراه با گروهش (**آمالدی**،[۲۴] **سگره**،[۲۵] **رازتی**،[۲۶] **آگوستینو و...**) همهٔ عناصر را یکی یکی با کمك نوترون بمباران بنماید. نوترون برخلاف ذرهٔ آلفا دارای بار الکتریکی نیست و براحتی می‌تواند به هستهٔ اتم نزدیك گردد. (از اینرو این کشف فرمی گامی بزرگ در روند تحقیقات اتمی بود.) ولی از آنجا که در تمام بمبارانها، هر عنصری به عنصر نزدیك به خودش تبدیل می‌شد، آنان پنداشتند که از بمباران اورانیوم با نوترون عنصر جدید ۹۳ را بدست آورده‌اند. (در آن زمان عنصر ۹۲ آخرین عنصر کشف شده بود.)

بزودی در سال ۱۹۳۴ **اوتوهان** (۱۹۶۸ـ۱۸۷۹) و **لیز مایتنر** (کاشفان عنصر ۹۱ یعنی پروکتانیوم) با کمك روشهای شیمیایی دریافتند که موضوع عنصر ۹۳ صحت ندارد. درپی سیاست ضدیهودی نازیها مایتنر مجبور شد به سوئد برود، در نتیجه اتوهان، بقیهٔ آزمایشهای خود را با کمك **فریتز اشتراسمان**[۲۷] دنبال نمود. آنان در سال ۱۹۳۸ طی نامه‌ای برای مایتنر توضیح دادند که نوترون، اورانیوم را در حقیقت به دوپاره می‌شکافد. پاره هایی در حدود نصف عدد اتمی اورانیوم.

24. E. Amaldi 25. E. Segre 26. Rasetti 27. Fritz Strasman

در سالهای ۳۷ـ۱۹۳۵ بور و فریتز کالکار[۲۸]، مدل قطره مایعی هسته را ابداع و تکمیل نموده بودند. براساس این مدل، بور، می بایستی مسئلهٔ عملی شکافت هسته‌ای را حدس می‌زد. ولی سرنوشت این مسئله به این شکل شد که مایتنر خبر شکافت هستهٔ اورانیوم را با پسرعمه‌اش اوتوفریش[۲۹] درمیان گذاشت. فریش که برحسب تصادف در کنفرانسی از زبان بور مدل قطره مایعی هسته را شنیده بود، مقدار کشش سطحی قطره مایع و نیروی دافعه الکتریکی پروتونها را محاسبه نموده و پاره‌های شکافت اورانیوم را با استفاده از اصطلاحی پزشکی در مورد تکثیر سلولی، «فیش یافیسیون» نامید. مایتنر نیز ضمن محاسبات خود پی برد که در هر شکافت می بایستی ۲۰۰ میلیون الکترون ولت انرژی گرمایی آزاد گردد. سپس فریش باموافقت مایتنر خود را به کپنهاك رساند تا موضوع شکافت هسته‌ای را به بور خبر دهد. در آن زمان بور به خاطر دیدار با آینشتاین عازم آمریکا بود، او به محض ورود به آمریکا، جامعهٔ علمی آمریکا را از این خبر آگاه ساخت. ازآن طرف فرمی از دست فاشیستهای ایتالیا در ژانویه ۱۹۳۹ (یعنی یك هفته قبل از بور) به آمریکا مهاجرت کرده و بلافاصله در دانشگاه کلمبیای نیویورك مشغول تدریس و تحقیق شده بود. چون فرمی و همکارانش می‌دانستند که نازیهای آلمان مشغول بررسی ساخت بمب اتمی (یا به عبارت دقیقتر بمب هسته‌ای) می باشند، پس **لئوز یلارد**[۳۰] و **اوژن ویگنر**[۳۱] را نزد آینشتاین (مشهورترین دانشمند آن روز) فرستادند تا فرضیهٔ شکافت هسته‌ای و انرژی آزاد شده از این شکافتها را (که از فرمول $E=mc^2$ نیز قابل محاسبه بود) برای او توضیح بدهند. آینشتاین نیز در آگوست ۱۹۳۹ نامه‌ای به روزولت رئیس جمهور وقت آمریکا نوشت و او را از اهمیت کار، آگاه ساخت. در نتیجه با دستور روزولت امکانات مالی و فنی مناسبی برای دانشمندان اتمی فراهم گردید.

سرانجام فرمی و گروهش (کسانی چون لئوزیلارد، **جیمزفرانك**،[۳۲] **والتر زین**،[۳۳] **آلبرت واتنبرگ**،[۳۴] **هربرت آندرسون**،[۳۵] **جان مارشال**،[۳۶] اوژن ویگنر، **ادوارد تلر**،[۳۷] **جان ویلر**،[۳۸] و **لئونا مارشال لیبی**[۳۹]) با استفاده از نتایج پژوهشی زیر:

۱ـ چشمه نوترونی: به عنوان شکافندهٔ هسته‌های اورانیوم

---

28. Fritz Kalkar 29. Otto Frich 30. Leo Szilard 31. Eugen Wigner
32. James Franck 33. Walter Zinn 34. Albert Wattenberg
35. Herbert Anderson 36. John Marshall 37. E. Teller 38. John Wheeler
39. Leona M. Libby

۲ـ صفحه های گرافیتی (صدتن زغال در ۵۱ لایه): به عنوان کند کنندهٔ نوترونهای حاصل از شکافت اورانیوم (که در ضمن جاذب نوترون هم نبودند.)
۳ـ میله های کادمیومی: به عنوان کنترل کنندهٔ واکنش زنجیره ای (زیرا که کادمیوم یك جاذب قوی نوترون بود.)
۴ـ گلوله های کروی شکل اورانیوم که می بایستی برروی صفحات گرافیتی به صورت پراکنده قرار داده شوند.

در دوم دسامبر ۱۹۴۲، اولین پیل اتمی[۴۰] دنیا را بکار انداختند. (چون صفحات زغالی همراه با گلوله های اورانیومی لایه لایه و تناوبی برروی هم قرار گرفته بودند به آنها در مجموع پیل می گفتند.) واز آنجا که هدف بدست آوردن برق نبود در این پیل فقط انرژی گرمایی بدست آمد.

به هر حال از نظر تئوری، انرژی حاصله از این آزمایش فقط یك لامپ را می توانست روشن نماید. در نهایت گروه فرمی ثابت نمود:

۱ـ واکنش زنجیره ای امکان پذیر است (تکنولوژی بمب های هسته ای.)
۲ـ واکنش زنجیره ای قابل کنترل است (تکنولوژی نیروگاه های هسته ای.)

در سال ۱۹۴۵ در آمریکا، اولین بمب هسته‌ای جهان به سرپرستی **رابرت اوپنهایمر**[۴۱] به طور آزمایشی منفجر گردید. در سال ۱۹۴۹ شوروی‌ها اولین بمب هسته‌ای خود را منفجرکردند و سپس در سال ۱۹۵۳ اولین بمب هیدروژنی خود را نیز به سرپرستی **ایگور واسیلیوویچ کورچاتف**[۴۲] (۱۹۶۰ـ۱۹۰۲) به طور آزمایشی منفجر کردند. (البته آمریکا اولین بمب هیدروژنی خود را به سرپرستی **ادوارد تلر** درسال ۱۹۵۲ مورد آزمایش قرار داده بود.) در همین راستا اولین نیروگاه هسته ای جهان در سال ۱۹۵۴ در شوروی، دومین نیروگاه درسال ۱۹۵۶ در انگلستان و سومین آن در سال ۱۹۵۸ در آمریکا شروع بکار نمودند.

امروزه در رآکتورهای اتمی (نیروگاههای هسته‌ای)[۴۳] که جهت تولید برق ساخته شده اند، در محفظه های تحت فشار[۴۴] با کمك چشمه های نوترونی[۴۵] هسته های اورانیوم شکافته می شوند. سپس گرمای حاصله به موادی مانند آب منتقل می گردد. با کمك دستگاه

40. Atomic Pile 41. Robert Oppenheimer 42. Igor Vasilievich Kurchatov
43. Nuclear Power Plant 44. Pressuer Vessel 45. Neutron Sources

کنترل فشار[۴۶] آب این مدار[۴۷] حتی در دماهای ۲۰۰ـ۳۰۰ درجهٔ سانتی گراد به صورت مایع نگاه داشته می شود.

سپس آب این مدار وارد دستگاه مولد بخار[۴۸] می شود تا آب مدار دوم را به بخار آب تبدیل کند. در این حالت از یك طرف آب مدار اول با کمك پمپهایی، دوباره وارد دستگاه محفظهٔ تحت فشار می شود، تا عمل قبلی خود را تکرار کند. و از طرف دیگر بخار آب مدار دوم هم وارد توربینها می شود تا پرهٔ توربینها را به حرکت درآورد، سپس از چرخش محور توربین[۴۹] در یك میدان مغناطیسی، در محور توربین برق تولید می شود. به عبارت دیگر انرژی مکانیکی، به انرژی الکتریکی تبدیل می گردد. آب مدار دوم نیز وارد دستگاه چگالنده[۵۰] شده و با کمك آب رودخانه یا دریا خنك شده و سپس توسط پمپهایی به دستگاه مولد بخار برگردانده می شود. آب دریا یا رودخانه نیز که مدار سوم را تشکیل می دهد پس از خنك کردن آب مدار دوم به جای اول خود بازگردانیده می شود.

برای کنترل تعداد و سرعت نوترونهای شکافندهٔ هسته های سوخت،[۵۱] از کند کننده هایی چون آب سبك، آب سنگین و گرافیت استفاده می شود. در نتیجه، نیروگاههای هسته ای با توجه به نوع کندکننده، نوع خنك کنندهٔ مدار اول (گاز یا آب سبك یا آب سنگین یا فلز مذاب) و نوع سوختشان، به سه دستهٔ کلی تقسیم می شوند:

۱ـ رآکتورهای آب سبك (LWR)

۲ـ رآکتورهای گازی (GCR)

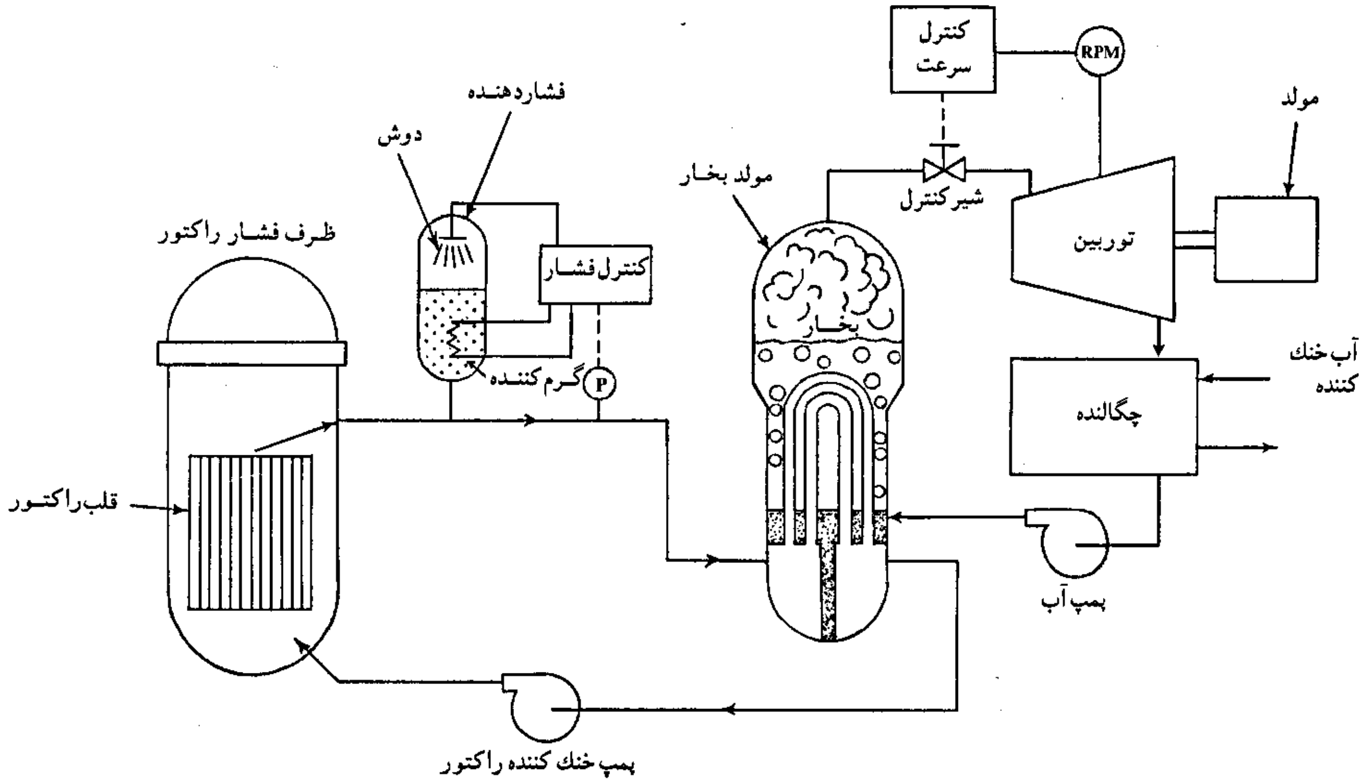
۳ـ رآکتورهای آب سنگین (HWR)

در حال حاضر در دنیا دو نوع رآکتور آب سبك وجود دارد.

۱ـ رآکتورهای با آب تحت فشار (RWR) که دربالا شرح داده شد.

۲ـ رآکتورهای با آب جوشان (BWR) که در این نوع نیروگاهها آب مدار اول تحت فشار زیاد نبوده و در همان مدار به صورت بخار درمی آید.

46. Pressurizer 47. Loop 48. Steam Generator 49. Shaft
50. Condensor 51. Fuel



شکل ۲۱ـ۴. نمودار کلی یك نیروگاه PWR

و اما در مورد فیوژن و رآکتورهای فیوژنی (واکنشگرهای گداختی) لازم به تذکر است که برای اولین بار در سال ۱۹۳۸ هانس آلبرشت بته[۵۲] فیزیکدان آلمانی، اعلام کرد که انرژی خورشید از همجوشی دو اتم هیدروژن که تشکیل یك اتم هلیوم را می‌دهند، پدید می‌آید.

در ساده‌ترین فرایند گداز یا گداخت، چهار هستهٔ هیدروژن معمولی یا سبك درهم ادغام می‌شوند و یك هستهٔ هلیوم با مقدار زیادی انرژی تولید می‌کنند. در این واکنش هفت هزارم از جرم، مطابق رابطهٔ آینشتاین، به انرژی تبدیل می‌شود. اما در گداخت دوتریوم (D یا ^2_1H) با دوتریوم، یا دوتریوم با تریتیوم (T تا ^3_1H)، یا دوتریوم با هلیوم ۳ انرژیهای بیشتری آزاد می‌شود. یعنی:

$$D+D \longrightarrow {}^3He + {}^1_0n + 3.2\ Mev$$
$$D+D \longrightarrow T + {}^1_1P + 4\ Mev$$
$$D+T \longrightarrow {}^4He + n + 17.6\ Mev$$
$$D+{}^3He \longrightarrow {}^4He + H + 18.3\ Mev$$

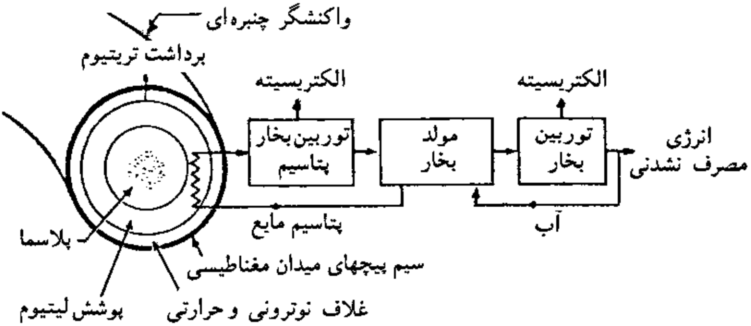
رآکتوری که به وسیلهٔ گداز هسته‌ای، انرژی مفید تولید می‌کند، برای شروع به مقداری انرژی اولیه نیاز دارد تا شرایط مناسب برای انجام واکنشهای گرما ـ هسته‌ای با آهنگی قابل ملاحظه در آنها ایجاد گردد. در این دماهای زیاد (حدود ۱۰۰/۰۰۰/۰۰۰ درجه کلوین) هیدروژن به پلاسما تبدیل می‌شود. یعنی به ترکیبی از هسته‌ها و الکترونهای آزاد. با کمك میدانهای قوی مغناطیسی پلاسما را محصور و کنترل می‌کنند. در این حالت است که هسته‌های دوتریوم و تریتیوم براحتی به یکدیگر نزدیك می‌شوند و گداخته می‌گردند. در فرایند گداز، تریتیوم، یك پروتون از دوتریوم می‌رباید و به هلیوم تبدیل می‌شود، و نوترون گسیل می‌گردد. در ضمن مقدار زیادی انرژی (۱۷/۶ میلیون الکترون ولت) به ازای هر واکنش آزادمی‌شود، که بیشتر این انرژی را نوترونها حمل می‌کنند. در واکنشگر گدازی این انرژی جنبشی باید به گرما تبدیل شود. تا با ایجاد بخار، توربین مولد الکتریسیته را بکار اندازد.

یکی از روش‌های تبدیل انرژی نوترونها به گرما آن است که رآکتور گداختی را با پوششی بپوشانیم، تا نوترونها را کند و سپس جذب نماید، و خود نیز در ضمن این فرایند گرم شود. مادهٔ این پوشش از لیتیوم است. این فلز علاوه بر تولید گرما، در واکنش با نوترونها موجب زایش تریتیوم بیشتری می‌شود که به کار سوخت اصلی می‌آید.

52. Hans Albrecht Bethe

بدین ترتیب لیتیوم که تا ۱۱۰۰ درجه سانتی گراد گرم شده، گرمایش توسط سیکل پتاسیم مایع به اولین توربین برده می‌شود تا در آنجا الکتریسیته تولید گردد.

مسئلهٔ محصور کردن پلاسما (برای مثال از طریق محصور کردن مغناطیسی)[۵۳] یکی از مشکلات تکنیکی این نوع رآکتورهاست. ساخت و بهره برداری از این نوع رآکتورها از نظر تکنیکی و اقتصادی هنوز مورد رضایت نیست. و در حال حاضر دانشمندان جهان مشغول بررسی و تحقیق برروی این زمینه‌اند.



شکل ۲۱ـ۵. مقطعی از یك رآکتور فیوژنی باحصار مغناطیسی چنبره‌ای

پ ـ مدل قطره‌ای ـ لایه‌ای هسته

پس از عرضهٔ مدلهای قطره‌ای و لایه‌ای در مورد ساختمان هستهٔ اتم، در هر دو مدل نارساییهای چندی دیده می‌شد. «مدل لایه‌ای، نمودها و ویژگی هستهٔ آرام و معمولی را روشن می‌ساخت. مدل قطره‌ای بازگو کنندهٔ مشخصات هستهٔ تحریك شده‌ای بود که ذرات وابسته به آن در جوش و خروشند. و امکان متلاشی شدن، آن را تهدید می‌کند.»[۵۴]

یکی از ضعفهای مدل قطره‌ای این است که چگالی بار الکتریك در هستهٔ اتم عناصر مختلف نمی‌تواند یکسان و ثابت باشد (مانند همهٔ قطرات مایع). چگالی بار الکتریك فقط به تعداد پروتونهای موجود در هسته بستگی دارد. برای مثال، هستهٔ اتم هیدروژن که فقط از یك

53. Magnetic Confinement

۵۴. الفبای مکانیك کوانتا، ویتالی رایدنیك، صفحه ۱۹۱

پروتون تشکیل شده و نوترون ندارد، باید دارای زیادترین چگالی بار الکتریك باشد. در هسته هایی که تعداد نوترونها و پروتونها با یکدیگر برابرند، چگالی بار باید نصف چگالی بار الکتریك در هستهٔ اتم هیدروژن باشد، و سرانجام در سنگینترین هسته ها، که تعداد پروتونها ۳۹٪ کل ذرات هسته را تشکیل می دهد، چگالی بار باید کمترین مقدار را داشته باشد. اما یك چنین کاهش تدریجی بار الکتریك، با ساختمان منفصل و محدود ماده، که حجم معین و مشخصی را اشغال کرده باشد، تطبیق نمی کند. «به علاوه نمی توان یقین داشت که سطح خارجی هسته، همان قدر مشخص ومعین باشد که برای قطره مایع مشخص است. زیرا قبول این فرض ایجاب می کند که بار الکتریك که به طور یکسان در داخل هسته توزیع شده و دارای مقدار ثابت و معینی است، به ناگهان در سطحی که هسته را محدود کرده است صفر شود.

تئوری کوانتیك جدید نشان می دهد که بار الکتریك در هسته، ناگهان در یك سطح معینی صفر نمی شود، بلکه در قشر نازکی به تدریج شروع به کاهش می کند و کم کم به صفر نزدیك می شود.»[۵۵]

سرانجام در سال ۱۹۷۲ مدل واحدی از ترکیب مدلهای قطره ای و لایه ای، به وسیله فیزیکدان دانمارکی اوج بور[۵۶] فرزند نیلزبور، بنیان نهاده شد و مدل تعمیم یافته نام گرفت.

تئوری تعمیم یافته بر این اساس است که اگر تعداد پروتونها و نوترونهای موجود در هسته برابر اعداد ماژیك ویا نزدیك به آنها باشد، خواص لایه ای ظاهر می شود. در غیر این صورت بویژه اگر در لایهٔ تکمیل نشده به اندازهٔ ⅔ تعداد ذرات لایهٔ تکمیل شده قبلی، ذره موجود باشد، خواص قطره ای آشکار می گردد.

بنظر می رسد که ذرات واقع در خارج لایه های تکمیل شده، عامل تمام بی نظمی ها و اغتشاشات هسته ای می باشند. برعکس، ذراتی که در لایه های تکمیل شده قرار دارند، آرامترند و به طور مستقیم در فعالیتهای هسته شرکت نمی کنند.

میدان الکتریکی، میدان مغناطیسی و بسیاری دیگر از نمودهای هسته که براساس مدل تعمیم یافته محاسبه شده اند، با تجربه موافق هستند. ولی به هر حال مشکل اصلی این مدل و دیگر مدلهای هسته ای، عدم شناسایی نیروهای هسته ای است. این نیروها فوق العاده قوی

۵۵. اتم و انرژی اتمی (جلد دوم)، اثر کاظم عضوامینیان، انتشارات جانزاده، صفحه ۱۲۹

56. Oge Bohr

بوده و با بار الکتریکی ارتباط ندارند. نیروهای یادشده در فواصل بسیار نزدیك اعمال می گردند و مانند تمام نیروهای داد و ستدی به جهت اسپین ذرات وابسته اند.

اطلاعات بیشتر، در مورد نیروهای هسته وقتی حاصل می شود که فیزیکدانها به درون خود ذرات هسته ای نیز راه یابند، و ساختمان آنها را بررسی نمایند. دانش فیزیك، این برنامه را تازه آغاز کرده است.

فصل بیست و دوم

نیروهای بنیادی جهان

ذرات بنیادی و مواد جهان به وسیلهٔ دست کم چهار نیروی بنیادی با یکدیگر کنش متقابل دارند. نیروی گرانشی، که برای مثال زمین را به دور خورشید نگه می‌دارد؛ نیروی قوی هسته‌ای که پروتونها و نوترونها را در هستهٔ اتم کنار هم محکم نگه می‌دارد و انسجام هسته را تضمین می‌کند؛ نیروی ضعیف هسته‌ای که باعث تلاشی نوترونهاست و به نام تباهی بتا[1] معروف می‌باشد، و نیروی الکترومغناطیسی که الکترونها را در اطراف هستهٔ اتم نگاه می‌دارد.

هرگاه شدت نیروی قوی هسته‌ای را بر حسب واحدی برابر با یك اختیار کنیم، قدرت نسبی این چهار نیرو به ترتیب زیر خواهد بود.

۱ـ گرانشی: شدت درحدود $۱۰^{-۳۹}$

۲ـ ضعیف هسته‌ای یا نیروی رادیواکتیو: شدت در حدود $۱۰^{-۵}$

۳ـ الکترومغناطیسی: شدت در حدود $۱۰^{-۲}$

۴ـ قوی هسته‌ای: شدت برابر با ۱

نیروی الکتریکی میان الکترونهای منفی و هستهٔ مثبت موجد تمامی علم شیمی است. این نیرو، الکترونها را به اتم پیوند می‌دهد. از پیوند اتمها نیز ابتدا، مولکولها و سپس دیگر اجسام طبیعت بوجود می‌آید.

---

1. Beta Decay

گرانش در مقیاس ذرات کوچك اتم بسیار ناچیز است. نیروی گرانش میان الکترون و هسته، در اتم هیدروژن بیش از ده به توان ۳۹ بار از نیروی الکتریکی ضعیفتر است، و تاکنون آثار گرانش در فیزیك اتمی، مولکولی و فیزیك حالت جامد مشاهده نشده است. اما نیروی گرانش نیز به طریقی جمع و انباشته می شود که برای نیروی الکترومغناطیسی ممکن نیست، زیرا بارهای گرانشی مثبت و منفی ندارند تا یکدیگر را خنثی سازند. بنابراین، در مقیاسهای بزرگ، گرانش، نیروی مسلط می شود. گرانش از اجرامی که قطرشان در حدود یك صد کیلومتر است، یعنی سیارکهای بزرگ به بعد اهمیت می یابد. این نیرو موجب قوام و دوام ماه، زمین، منظومه شمسی، ستارگان، خوشه های ستاره ای درون کهکشانها و خود کهکشانهاست.

درسال ۱۹۲۵ بنظر می رسید که الکترومغناطیس و گرانش بر کل جهان چیره اند. در نتیجه چه چیزی طبیعی تر از آن بود که فیزیکدانان از جمله **آینشتاین** بکوشند این دو نیرو را در یك نظریه میدان وحدت یافته ادغام کنند؟ اما این کوشش دچار شکست شد. زیرا که بعدها معلوم شد نیروهای الکترومغناطیسی و گرانشی تنها نیروهای حاکم بر جهان نیستند.

درسال ۱۹۳۲ می‌دانستیم که هستهٔ اتم از پروتون مثبت و نوترون خنثی تشکیل شده است، اما چه چیزی تمامی این پروتونها را در هسته، این چنین نزدیك به هم نگه می‌دارد؟ نیروی گرانشی که بسیار ضعیفتر از آن است که پروتونها را کنار هم نگهدارد. نیروی الکترومغناطیسی از قدرت کافی برخوردار است ولی می‌تواند خود را همچون نیروی کششی یا رانشی نشان دهد. در نتیجه، تنها اثر این نیرو باعث دفع پروتونها از یکدیگر می شود. اما در هستهٔ اتم، پروتونها سخت به یکدیگر فشرده اند. نوترونها نیز در هسته حضور دارند اما بنظر نمی‌رسد که کمکی به این وضعیت کنند، زیرا که فاقد بار الکتریکی می باشند. عاقبت در سال ۱۹۳۵ این **یوکاوا** بود که تنوری نیروی هسته ای را اعلام کرد.

نیروی قوی ای در هسته وجود دارد که با الکترومغناطیس و گرانش تفاوت بسیار دارد، و بسی نیرومندتر از آنهاست. این نیرو که در حدود صدبار نیرومندتر از الکترومغناطیس می باشد، می‌تواند هسته هایی با یك صد پروتون را به هم بسته نگه دارد. مثال برجسته تری از شدت کنشهای متقابل قوی، آن است که یك واکنش هسته ای به ازای هر اتم یك میلیون مرتبه بیشتر از یك واکنش شیمیایی انرژی رها می سازد.

کنشهای متقابل ضعیف همزمان با کشف رادیواکتیویته در سال ۱۸۹۶ مشاهده شدند. زیرا که اشعهٔ بکرل محصول استحاله ای هسته ای بود که «تلاشی بتایی» نام دارد. به عنوان مثالی از

تلاشی بتایی؛ هسته تریتیوم را در نظر می‌گیریم که دارای یك پروتون و دو نوترون است. در جریان این تلاشی یکی از نوترونها به پروتون تبدیل شده و هسته‌ای از نوع دیگر را بوجود می‌آورد که ایزوتوپ سبك هلیوم است. برای آنکه بار دوطرف واکنش متعادل بماند، یك الکترون و یك نوترینو نیز آزاد می‌گردد. در ابتدا این ذرات در هسته نبودند. ولی آنها ضمن عمل تلاشی، به وسیلهٔ نیرویی که کنش متقابل ضعیف نام دارد، ایجاد می‌شوند.

نیروی ضعیف، قبل از وقوع تلاشی، چندان اثری در ساختمان هسته ندارد. بلکه مانند شکافی ریز در یك ناقوس چدنی است که اثری در طنین ناقوس ندارد، ولی سرانجام موجب شکستن و تکه تکه شدن آن می‌گردد. کنش متقابل ضعیف در حقیقت نخستین مرحلهٔ اصلی در واکنشهایی بشمار می‌رود که گرمای خورشید را تأمین می‌کنند. خورشید به طور عمده، متشکل از هیدروژن است. دوهستهٔ هیدروژن به هم می‌چسبند، یکی از آنها به نوترون تبدیل می‌شود، و برای آنکه موازنهٔ بار درکل فرایند برقرار باشد یك پوزیترون و یك نوترینو نیز آزاد می‌شوند.

نوترینوها می‌توانند از قالبی سربی به ضخامت چندین سال نوری عبور کنند بی‌آنکه متوقف و یا پخش شوند. خورشید پیوسته نوترینو تشعشع می‌کند و حتی در شب نیز که خورشید بر نیمهٔ دیگر کرهٔ زمین می‌تابد، نوترینوها از زمین می‌گذرند و به ما می‌رسند.

هر ذره در عالم، منبع یك یا چند تا از نیروهای بنیادی است. از این چهار نیرو دو نیروی هسته‌ای و ضعیف تا حدود 10^{-13} سانتی متر یا کمتر از آن نمود پیدا می‌کنند. این فاصله در حدود پهنای هستهٔ کوچکی است که درمرکز هر اتمی وجود دارد. به این دلیل واژهٔ نیروی هسته‌ای گاهی به هر دوی آنها اطلاق می‌شود و به نیروی هسته‌ای قوی و ضعیف تفکیك می‌گردند. ذراتی که نیروی هسته‌ای قوی را بوجود می‌آورند و به آن پاسخ می‌دهند هادرونها[۲] نامیده می‌شوند. این نام از واژه‌ای یونانی به معنای قوی گرفته شده، چرا که از میان چهار نیروی بنیادی، نیروی هسته‌ای قوی از همه قویتر است. در نتیجه می‌توان گفت که پروتونها و نوترونها در گروه هادرونها هستند.

فیزیکدانان نوع واکنشها را با عدد خاصی به نام ضریب اتصال واکنش نشان می‌دهند که برابر است با: $\frac{2g^2\pi}{hc}$

در واکنشهای قوی که به علت میدان مزونهای پی پدید می‌آید این عدد حدود ۱۵ است

2. Hadron

که با تبادل مزون پی، پروتونها و نوترونهای هسته به طور پیوسته تبدیل به یکدیگر می‌شوند ارتباط میان پروتونها از یك طرف و نوترونها از طرف دیگر نیز با پی مزون خنثی تأمین می گردد.

در واکنشهای الکترومغناطیسی که عاملش کوانتای این میدان است، این عدد بسیار کم و در حدود $\frac{۱}{۱۳۷/۰۳}$ است.

در واکنشهای هسته‌ای ضعیف که ناشی از میدان الکترونها یا نوترینوهاست (که به طور معمول در تجزیه بتاهای مثبت و منفی پدید می‌آید)، این عدد در حدود $۱۰^{-۱۱}$ است.

و سرانجام در واکنشهای جاذبه که با بار جاذبه $\sqrt{xm}$ مشخص می شود (m جرم جسم و x ضریب عمومی است) حتی برای سنگینترین ذرهٔ بنیادی شناخته شده، این عدد از $۱۰^{-۴۸}$ تجاوز نمی کند. «نیوتن کشف کرد که هرجسمی که بتواند میدان گرانشی بوجود آورد، چنانچه در میدان گرانشی زمین قرار گیرد، به سوی مرکز آن حرکت خواهد کرد؛ یعنی سقوط می کند. زمین نیز به سهم خود به سوی مرکز آن جسم حرکت خواهد کرد. اما از آنجا که زمین بسیار بزرگتر از جسم سقوط کننده است، سرعت حرکت آن به طور نسبی، آن قدر کم است که در واقع غیر قابل اندازه گیری است.»[۳] نیوتن نیروی جاذبه (گرانشی) میان دو جسم را با کمك فرمول $F = G\frac{mm'}{d^2}$ نمایش داد که در آن G ضریب گرانش، m و ´m جرمهای دو جسم و d فاصلهٔ آن دو از هم است.

دلیل آشنایی ما با نیروهای گرانشی و الکترومغناطیسی، و ناآشنایی ما با نیروهای قوی و ضعیف، فقط به خاطر برد آنهاست. دو نیروی اول دارای برد بسیار زیاد و برعکس دونیروی دیگر دارای برد بسیار کوتاهی هستند. ولی با این وجود، این نیروها نیز به همان اندازه بنیادی‌اند. فقط این تصادف که مقیاس زندگی ما به جای یك فرمی (هر سانتی متر برابر با ده تریلیون فرمی است)، در ردیف یك متر می باشد؛ نیروهای گرانشی و الکترومغناطیس را در نظر ما بنیادی‌تر نشان می‌دهد.

اواخر دههٔ ۱۹۲۰ و اوایل دههٔ ۱۹۳۰ مکانیك کوانتومی با نسبیت وحدت یافت و فرمالیسمی ریاضی به نام نظریه میدان کوانتومی پدید آمد که بنابر آن کنشهای متقابل ذرات بنیادی از طریق مبادلهٔ خود ذرات بنیادی صورت می‌پذیرد. بنابر مکانیك کوانتومی، برد هر نیرو به طور معکوس با جرم ذره مبادله شده متناسب است. پس الکترومغناطیس و گرانش، که

۳. سرانجام عالم، سرگذشت سیاهچاله ها اثر ایساك آسیموف، ترجمه بهرام معلمی، انتشارات جیران، صفحه ۴

بردشان نامتناهی بنظر می‌رسد از مبادلهٔ ذراتی که جرمشان صفر است یعنی فوتون آشنا و گراویتون فرضی ناشی می‌شوند. وقتی که به فرض در برخورد یك فوتون با الکترون، الکترونی مبادله می‌شود، برد در حدود ۳۸۶ فرمی است. چون برد کنشهای متقابل قوی در حدود یك فرمی است با استفاده از قاعدهٔ تناسب، جرم ذرهٔ مبادله شده باید چند صد برابر جرم الکترون باشد. که جرم گروهی از ذرات با کنش متقابل قوی چون پروتون، نوترون و مزون است.

«یکی از نخستین تلاشها در مورد وحدت بخشیدن به چهار نیروی بنیادی جهان، در دههٔ ۱۹۶۰ مطرح شد، که بر مبنای وحدت بخشیدن به کنشهای متقابل الکترومغناطیسی و ضعیف استوار بود. در دههٔ ۱۹۸۰ نیز به طور تجربی در شتاب دهندهٔ غول‌آسای سازمان اروپایی برای پژوهش اتمی (CERN) در ژنو به اثبات رسید. و این با کشف ذراتی بود به نامهای سادهٔ W و Z که نیروی ضعیف را حمل می‌کنند.»[۴]

در دههٔ ۱۹۶۰، **شلدان گلاشو**[۵]، **استیون واینبرگ**[۶] و **محمدعبدالسلام** فیزیکدان پاکستانی، بسط اندیشهٔ وحدت نیروهای بنیادی را پیش کشیدند. واینبرگ در سال ۱۹۶۷ موفق شد که میان نیروهای ضعیف و الکترومغناطیسی وحدتی پدید آورد. کاری که در همان سال عبدالسلام نیز مستقل از وی، به آن توفیق یافت.

«از نظر عبدالسلام وحدت کوارك ـ لپتونی در مقیاس انرژی ای در حدود 10^{4}ـ10^{5} بلیون الکترون ولت تحقق خواهد یافت. بنابر این نظریه در فاصله 10^{2} (Bev) تا 10^{16}(Bev)، پدیده‌های جدید، که لایه‌های تازه‌ای از وحدت را آشکار می‌سازند در مراحل متوالی متجلی می‌شوند. و در انرژی 10^{16} (Bev) است که وحدت سه نیرو ظاهر می‌گردد.»[۷]

مدلهای دیگر که اساس آنها همان اندیشهٔ وحدت نیروهاست، سناریوی دیگری را مطرح می‌سازند. زیرا که جزئیات ساخت واره‌های درونی آنها با جزئیات مدل عبدالسلام متفاوت است. به طور مثال مدلی از **هوارد جیورجی**[۸] و شلدان گلاشو از دانشگاه هاروارد پیش‌بینی می‌کند که وحدت کوارك ـ لپتونی و نیز وحدت سه نیروی بنیادی تنها در فاصلهٔ

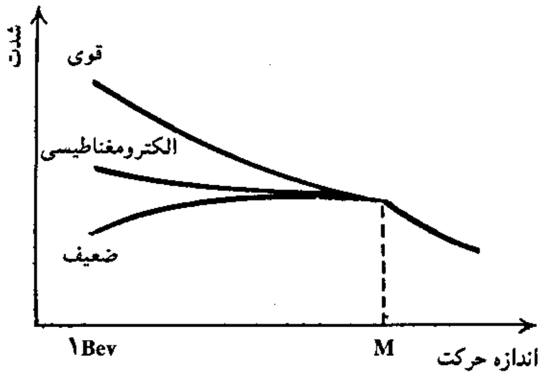
۴. مجله پیام یونسکو، ویژه نامه کیهان، مهر ۶۵، صفحه‌های ۸ و ۹

5. Sheldon Glashow 6. Steven Weinberg

۷. کوارکها و لپتونها، اثر جرالد فاینبرگ و...، ترجمه م ـ حیدری خواجه پور، انتشارات گستره، صفحه‌های ۱۰۱ و ۱۰۲

8. Howard Georgi

(Bev) $۱۰^{۱۶}$ـ$۱۰^{۱۴}$ تحقق می‌یابد. (با کوارکها در فصل بعد آشنا خواهیم شد.)



شکل ۲۲ـ۱. وحدت سه نیرو (تئوری واینبرگ ـ سلام)

دسته‌ای از نظریات میدان کوانتومی به نام نظریه‌های میدان پیمانه‌ای[9] وجود دارد که دورنمای وحدت بخشیدن به کنشهای متقابل ضعیف، الکترومغناطیسی و به طور احتمال هسته‌ای قوی را نیز در یك فرمالیسم ریاضی نشان می‌دهد.

برحسب این نظریه‌ها تقارنی ژرف میان نیروهای طبیعت وجود دارد. به این معنی که در واقع همه یکی هستند و تنها علتی که در زندگی روزمره با تفاوتهایی چنین فاحش میان نیروهای قوی، ضعیف و الکترومغناطیسی روبرو می‌شویم، آن است که برحسب تصادف در دمای $۱۰^{۱۸}$ درجه زندگی نمی‌کنیم.

«می‌دانیم که خوشه‌های کهکشانها از یکدیگر دور می‌شوند و درهمین حال فضای بین آنها گسترش می‌یابد و این بدان معناست که در حدود ۱۵ هزار میلیون سال پیش کهکشانها به یکدیگر نزدیکتر بودند، و سپس همهٔ ماده و انرژی کیهان از فوران و انفجار حادثهٔ بزرگ[10] بوجود آمد.»[11]

بر حسب نظریهٔ حادثهٔ بزرگ، کیهان بسیار آغازین (برای مثال در $۱۰^{-۳۵}$ ثانیه پس از وقوع حادثه بزرگ) بسیار داغ بود و دمای آن به بالاتر از $۱۰^{۲۸}$ درجه کلوین می‌رسید. در این

9. Gauge Field Theories 10. Big Bang

۱۱. مجله پیام یونسکو، ویژه‌نامه داستان کیهان، مهر ۶۵، صفحه ۵

دماها ذرات از انرژی کافی برای کنش متقابل در فواصل بسیار کم مثل 10^{-29} سانتی متر برخوردارند. بدین گونه کیهان بسیار آغازین همچون یك شتاب دهندهٔ ذره‌ای عظیم عمل می‌کرد.

برخی خصوصیات نظریات وحدت بزرگ در مورد یگانگی نیروهای بنیادی ارتباط زیادی به کیهان اولیه دارد. یکی از هیجان‌انگیزترین نتایج نظریات وحدت بزرگ آن است که این نظریات حاکی از بی‌ثباتی ماده‌اند. در حالی که پیش از پیدایش نظریات وحدت بزرگ، پروتونها و در حقیقت ماده به طور مطلق باثبات و تغییرناپذیر تلقی می‌شدند، کنشهای متقابل قوی بر حسب این نظریه‌ها دال بر تباهی پروتون هستند. درست همان طور که کنشهای متقابل ضعیف تباهی نوترون را سبب می‌شوند. سرانجام بنظر می‌رسد که **همهٔ ماده کیهان** چنانکه ما آن را می‌شناسیم، نابود خواهد شد.

«در حالی که عمر نوترون آزاد در حدود ۱۵ دقیقه است، عمر پروتون بیش از 10^{30} سال است. ولی با توجه به اینکه سن کنونی کیهان تنها 10^{10} سال است، برای نخستین بار، برای ابدیت مقیاس کمی از رسته 10^{30} سال تعیین شده است.»[۱۲]

بنابرنظریات وحدت بزرگ[۱۳] در نخستین لحظهٔ آتشین حادثهٔ بزرگ، کیهان خیلی داغ و خیلی چگال بود، و تابع یك نیروی یگانهٔ واحد بود. ولی وقتی گسترش یافت به سردی گرایید، چگالی‌اش کاهش یافت و در فرایندی به نام تجزیهٔ تقارن نیروی یگانهٔ واحد شروع به تجزیه شدن کرد. این تجزیهٔ نیروها هنگامی رخ داد که کیهان در حدود 10^{-35} ثانیه عمر داشت و دارای دمای 10^{28} درجهٔ کلوین بود.

این دوره‌ای است که کیهان با سرعتی بسیار گسترش می‌یافت. مزیت این سناریوی باد شدگی، آن است که این دورهٔ ناگهانی، کوتاه و سریع کیهان راه‌حلی برای این مسئله عرضه می‌دارد که چگونه اجزای کیهان (که در غیر این صورت دورتر از آن بود که ارتباط علیتی با یکدیگر داشته باشند) دماهای مشابهی پیدا می‌کنند. کیهان بزرگ ما بسیار یکنواخت است، زیرا از یك بذر یکنواخت ریز تورم یافته است.

مدل تورمی همچنین برای مسئله حساس دیگری پاسخ لازم را فراهم می‌کند، به این معنی

۱۲. مجله پیام یونسکو، ویژه‌نامه داستان کیهان، مهر ۶۵، صفحه ۹

13. Grand Unified Gauge Theories (GUTS)

که چگونه است که ماده بیش از ضدماده از حادثه بزرگ تولید شد؟ نظریات وحدت بزرگ، در دماهای بسیار بالا وجود مراحل بسیار آغازین را برای ذرات ایکس فوق سنگین پیش‌بینی می‌کنند. این ذرات سپس به ذراتی با جرم کمتر تباهی می‌یابند و در این کار می‌توانند آمیزهٔ یکسانی از ماده (باریونها) و ضدماده (ضد باریونها) را تولید کنند. در زمانی دقیقاً $۱۰^{-۳۵}$ ثانیه پس از حادثه بزرگ دما به سطحی تنزل می‌کند که در آن دیگر ذرات ایکس نمی‌توانند ساخته شوند، و عدم تقارن ناچیزی (یك باریون جفت نشده در هزار میلیون جفت باریون ـ ضدباریون) برای همیشه در کیهان گسترش یابنده وارد می‌شود و در آن می‌ماند.

«هر مواجهه یك پروتون و یك ضدپروتون به نابودی هر دو می‌انجامد و تنها پروتونهای اضافی (یکی در هزار میلیون) باقی می‌مانند. ما همهٔ کهکشانها، ستارگان، سیارگان و موجودات زندهٔ کیهان را به این عدم توازن ناچیز مرهون هستیم.»[۱۴] (از $۱۰^{-۳}$ ثانیه پس ازحادثهٔ بزرگ تا زمان حال.) جالب توجه است که همان نیروهایی که باعث تشکیل جهان هستند (عدم تقارن ماده ـ ضد ماده) آن را به انقراض می‌رانند (تباهی پروتون و ازآنجا بی‌ثباتی ماده).

بر حسب نظریات وحدت بزرگ، اگر انرژی انفجار بزرگ از انرژی جاذبهٔ کل عالم بیشتر و یا با آن مساوی باشد، عالم به انبساط خود تا ابد ادامه می‌دهد. اگر انرژی جاذبه بر انرژی انفجار بزرگ فزونی داشته باشد، ماده و عالم، قابل انقباض اند. و تراکم مجدد، آن را به مرحلهٔ اولیه می‌رساند تا شاید با انفجار بزرگ دیگری، عالم دیگری پدید آید. شگفت آور این است که در برآورد کل جرم تقریبی کیهان، این جرم را در حدی تخمین می‌زنند که در منطقهٔ بحرانی بین این دو امکان قرار دارد. یعنی در ظاهر سرنوشت کیهان به مویی بسته است.

۱۴. مجله پیام یونسکو، ویژه نامه داستان کیهان، مهر۶۵، صفحه ۱۰

فصل بیست و سوم

ذرات بنیادی

معلوم شده بود که تمامی مواد از مولکولها، مولکولها از اتمها، و اتمها نیز از پروتونها، نوترونها و الکترونها تشکیل شده اند. اما خود ذرات اتمی از چه چیزی ترکیب شده اند؟ ظاهراً از ذرات بنیادی[1]. اما خود این ذرات بنیادی چه هستند؟...

بعد از کشف نوترون در سال ۱۹۳۲، کشف ضد الکترون در سال ۱۹۳۲، کشف مومزونها در سال ۱۹۳۷ و کشف پی مزونها در سال ۱۹۴۷، باتلر و روچستر، دو پژوهشگر انگلیسی، در اشعهٔ کیهانی رد ذره ای را یافتند که آن را لاندا (۸ یا λ) نامیدند، این ذره در حقیقت اثری برجا نمی گذارد، و به یك پروتون و یك پیون منفی تجزیه می گردد.

سپس اشعه کا (k) و اعضای خانواده اش کشف گردیدند. این ذره به دوپیون مثبت و منفی تجزیه می شود. بدنبال آن در سال ۱۹۵۵ ضد پروتون، در سال ۱۹۵۶ ضد نوترون و در سال ۱۹۶۰ نیز هیپرون آنتی سیگما بدست آمد.

با الهام از جدول مندلیف، **موری گلمان**[2] (جلمان) آمریکایی و **نی شی جیای** ژاپنی در سال ۱۹۵۵ اولین تابلوی طبقه بندی شدهٔ ذرات بنیادی را ساختند. ولی این تابلو فقط یك جدول بندی ساده ای بود که برخلاف جدول مندلیف، هیچ قانونی را منعکس نمی کرد.

---

1. Fundamental Particles (Elementary Particles, Sub-Atomic Particles)

2. Murray Gell-Mann

گروهی معتقد بودند که سنگ بناهای اولیه با یکدیگر جمع می شوند و نیروهای واکنشی میان آنها، چون ملات و سیمان، آنها را به هم می چسباند، و ذره پیچیده تری را پدید می آورند؛ و این به مثابه بلوکی است که از سنگ و سیمان می سازیم.

گروهی دیگر می گویند که ذرات ساده در هم حل می شوند و ذره دیگری را بوجود می آورند. برای مثال **فرمی** و **یانگ**، عقیده داشتند که مزون پی از دو ذره تشکیل شده است (یعنی از نوکلئون و آنتی نوکلئون). گروه سومی نیز معتقد بودند که در ساختمان هر ذره بنیادی، نوکلئون (پروتون و نوترون) وجود دارد. بنابراین نوکلئونها از همهٔ ذرات بنیادی دیگر بنیادی ترند. فیزیکدان ژاپنی، **سی ایشی ساکاتا**، معتقد بود که همهٔ ذرات، از نوکلئون و ذرات لاندا ساخته شده اند. فیزیکدان دیگر، **موریس گلدها** مادهٔ اولیه سازندهٔ عالم را مجموعه ای از نوکلئون و مزون کا (k) می دانست.

از نظر **موری گلمان** کلیه ذرات بنیادی در اصل از کوارك[3] بوجود آمده اند. گلمان کلمهٔ کوارك را از یکی از داستانهای جیمزجویس به نام عزای فینگان اقتباس کرده است، از آنجا که کلاغها می گویند: «سه کوارك برای آقای مارك» یا «سه قار قار به افتخار آقای مارك».

بنا بر فرضیه **مارکوف** دانشمند روسی همهٔ ذرات از نوکلئون و آنتی نوکلئون بوجود می آیند. که اگر این تعداد فرد باشد فرمیونها، و اگر این تعداد زوج باشد بوزنها پدید می آیند. کوشش مارکوف بر این بود که تعداد ذرات بنیادی را تقلیل دهد، ولی برخی مشکلات ریاضی و نتایج مغایری که در فیزیك هسته ای بدست آمد، سبب کنار گذاردن تئوری مارکوف گردید.

در ژوئیه ۱۹۵۸ **رابرت اپنهایمر**[4] پدر بمب اتمی آمریکا و ناظر ساخت اولین پیل اتمی، بر چگونگی رده بندی ذرات بنیادی تجدید نظر کرد. به نظر وی، می توان تعداد آنها را به شش ذره و میدان تقلیل داد. اما وی نیز نتوانست تئوری مقبولی در این باره خلق کند.

چندی پیش دانشمند روسی **زلدویچ**[5] اعلام نموده است که به نظر وی همهٔ ذرات بنیادی به غیر از الکترون، پوزیترون و موئون، از ماده واحده ای به نام کوارك ساخته شده اند.

به هر حال هنوز کسی نتوانسته قانونی حاکم بر ذرات بنیادی بیابد، که در ضمن تصویری از ماده اولیه سازنده این ذرات و عالم را نیز بدهد. آنچه که از این ذرات می دانیم بسیار کمتر از آن است که پاسخگوی همه پرسشهای ما باشد، و تئوریهای جدید ذرات بنیادی همگی دارای

3. Quark 4. Robert Oppenheimer 5. Zeldowitch

کمبودهایی چند هستند.

اولین نقص بزرگ آنها این است که ذرات بنیادی را مانند نقاط مادی در نظر می گیرند. یعنی چیزی عاری از حجم و گسترش، که در عین حال دارای جرم و دیگر خصوصیات اجسام مادی است. همهٔ کوششها برای دخالت دادن حجم ذرات درمعادلات کوانتوم مکانیك با بن بست و تناقضاتی مواجه شده است، که ازآن جمله می توان خصوصیات نسبی فضاوزمان راذکر کرد. نمایش یك ذره همانند نقطه یی بی حجم رضایتبخش نیست. زیرا ابعاد برخی از این ذرات چون پروتون اندازه گیری شده است. و ابعاد ذرات را دیگر نمی توانیم صفر بگیریم. نقص دیگر این تئوریها در این است که نمی توانند بگویند چرا پارامترهای فیزیکی ذرات باید همین مقادیری باشند، که دارند، و چرا مقادیر دیگر نیست. برای مثال چرا جرم الکترون $۹/۱۱ \times ۱۰^{-۲۸}$ گرم است و مقدار دیگری نیست و چرا دنیای ذرات ریز صحنهٔ واکنشهایی این چنین است و از نوع دیگر نیست. به عبارت دیگر تئوری ذرات بنیادی قادر نیست پارامترهای فیزیکی و واکنشهای مجاز و غیر مجاز را تقسیم بندی کند و جدا سازد.

سومین نقص اساسی این تئوریها آن است که، تناقض موجود میان کوانتوم مکانیك و تئوری نسبیت را برطرف نمی سازند. هرچند که هر دو را نیز در حل مسائل و مشکلات بکار می گیرند.

کوانتوم مکانیك مرز مشخص اجرایی در فضا و زمان ندارد، و بعلاوه مسئله اتفاق و احتمال را می پذیرد. ولی تئوری نسبیت همهٔ حوادث را به گذشته، حال و آینده تقسیم می کند و از حوادثی که اینجا و آنجا رخ می دهد سخن می گوید، و تنها بر حوادث الزامی تکیه می کند. اصول نسبیت اتفاق را به کلی حذف می کنند. آیا همه این نقایص ناشی از این نیست که ما برخی از خصوصیات مادهٔ اولیه را، که از حوزه کوانتوم مکانیك خارج می شود، ندیده می گیریم.

کسانی چون ژان پل ویژیه از فرانسه، دیراك و هایزنبرگ تلاشهایی برای رفع این نقایص کرده اند. ولی تاکنون تئوری رضایت بخشی که همهٔ جنبه های دنیای ذرات ریز و ماده اولیه را دربرگیرد، عرضه نشده است.

تاریخچهٔ پژوهش در ذرات بنیادی را می توان به سه دوره تقسیم کرد:

۱ـ دوره اول: که از سال ۱۸۹۷ تا سال ۱۹۳۲ طول کشید و با کشف الکترون، پروتون، نوترون، اثر فوتوالکتریك و اثر کامپتون همراه بود. در این دوره مکانیك کوانتومی و نظریهٔ نسبیت خصوصی بسط یافت.

جدول ۲۳ـ۱. عالم و مکانیکهای گوناگون فیزیك جدید

واحدهای اصلی اندازه گیری	نوع مکانیک: بنیان گذار	نوع مکانیک: نام	ابعاد پدیده ها به سانتیمتر	پدیده های اصلی قابل بررسی	حوزه کاربرد
-	-	-	بیش از 5×10^{24}	فوق کهکشان‌ها	دنیای بی‌نهایت بزرگ
سانتیمتر،گرم،ثانیه	نیوتن	کلاسیك	از 10^{-8} تا 10^{24}	اجسام مختلف و کهکشان‌ها	دنیای اجسام بزرگ
سرعت نور $C=3\times10^{10}$ سانتیمتر برثانیه	آینشتاین	نسبی	از 10^{-13}	از ذرات بنیادی تا اجرام آسمانی	دنیای سرعتهای بسیار زیاد
عدد ثابت پلانك ارگ برثانیه $h=6/623\times10^{-27}$	پلانك، بور، دوبروی، شرودینگر ـ هایزنبرگ، دیراك،...	کوانتیك	از 10^{-13} تا 10^{-8}	ذرات بنیادی، هسته، اتم و ملکول	دنیای ذرات ریز
طول اولیه $L_0=10^{-13}cm$ سرعت نور c عدد پلانك h	هایزنبرگ، دیراك ـ ایوانکوف، مارکوف،	بنیادی	کوچکتر از 10^{-13}	میدان واحد اسپینی، کوارك و مشابه آن	دنیای ماده اولیه (دنیای بی نهایت کوچك)

۲ـ دوره دوم: که از سال ۱۹۳۲ تا حدود سال ۱۹۶۰ طول کشید. در این مدت ذراتی کشف شدند که در مادهٔ معمولی وجود نداشتند و اندك زمانی بعد از بوجود آمدن، متلاشی می‌شدند. هرکدام از این ذرات ناپایدار و عمر متوسط معینی بین 10^{-6} تا 10^{-16} ثانیه داشتند ذراتی که به این طریق کشف شدند شامل موئونها،[6] مزونهای پی و کا، هیپرونهای[7] لاندا و سیگما و کسی[8] بودند. در این دوره پوزیترون و ضد پروتون نیز کشف شدند.

این ذرات که وجودشان را نظریه کوانتومی نسبیتی دیراك پیش‌بینی کرده بود، خود بخود متلاشی نمی‌شوند، اما در جوار ماده، به ترتیب با الکترون وپروتون ترکیب می‌شوند و ذرات سبکتری را بوجود می‌آورند. تا سال ۱۹۶۰ در حدود ۳۰ ذره شناخته شده بود.

6. Muons 7. Hyperons 8. Xi

۳ـ در دوره سوم یعنی از سال ۱۹۶۰ تاکنون، تعداد ذرات بنیادی شناخته شده بسرعت افزایش یافته است. بیشتر این ذرات بسرعت و در مدتی کمتر از 10^{-19} ثانیه به ذرات دیگر تلاشی می‌یابند. ذره‌ای که با این سرعت متلاشی می‌شود، چندان راهی نمی‌پیماید که از خود ردی بجا گذارد. بنابراین برای اثبات وجود آن باید از چیزهای دیگر استنباط گردد. این کار با مشاهده فرآورده‌های تلاشی انجام می‌گیرد. با استفاده از قوانین بقای انرژی، اندازهٔ حرکت، اندازه حرکت زاویه‌ای و بار، خواص مربوط به انرژی ذره فرضی، که به این فرآورده‌ها تلاشی یافته است، تعیین می‌شود.

ذرات بنیادی دارای خواصی چون جرم سکون (جرم ذره سوای هر جرمی که بنا بر تئوری نسبیت می‌تواند داشته باشد)، اسپین (اندازه حرکت زاویه‌ای) و بار الکتریکی می‌باشند. به همین دلیل ذرات بنیادی را از دیدگاههای مختلف طبقه‌بندی می‌کنند:

۱ـ ذره‌ها و ضد ذره‌ها: براساس تقارنی که مکانیك کوانتومی نسبیتی برای ذره‌ها و ضد ذره‌ها پیش‌بینی کرده است.

۲ـ طبقه‌بندی از نظر جرم: که بر حسب سنگینتر شدن عبارتند از:

الف ـ لپتونها[9] که از سبکترین ذرات بنیادی تشکیل شده‌اند. از جمله ذرات این گروه می‌توان ازالکترون، پوزیترون، نوترینو، آنتی نوترینو، مومزون منفی و مومزون مثبت (موئون) و...... نام برد.

ب ـ مزونها[10] که دارای اجرامی متوسط هستند. از جمله ذرات این گروه می‌توان از پی مزون منفی، پی مزون مثبت (پیون)، پی مزون خنثی، کامزون منفی، کامزون مثبت (کائون)، کامزون خنثی و ضدکامزون خنثی و... نام برد.

پ ـ باریونها یا ذرات سنگین که شامل ذراتی مانند پروتون، ضدپروتون، نوترون و ضدنوترون می‌باشد.

ت ـ هیپرونها یا ذرات بزرگ که ذرات این گروه شامل لاندای خنثی، ضد لاندای خنثی، سیگماهای مثبت و منفی و خنثی و ضدسیگماهای مثبت و منفی وخنثی، کسی خنثی، ضدکسی خنثی، کسی منفی و ضد کسی منفی و...... می‌باشد.

فوتون و گراویتون را که دارای جرم حالت سکون صفر هستند به طور معمول در هیچیك از گروههای نامبرده جای نمی‌دهند.

9. Leptons 10. Mesons

جدول ۱۲-۱- برخی از ذرات و ضدذرات بنیادی

نام گروه	نام ذره	نماد	جرم (نسبت به جرم الکترون)	بار الکتریکی	اسپین ($h/2\pi$)	عمرمتوسط (ثانیه)	ضدذره* مربوطه	چگونگی تجزیه
	فوتون	γ	۰	۰	۱	پایدار	همان خود ذره	
لپتون‌ها (ذرات سبک)	الکترون	e	۱	۱-	$\frac{1}{2}$	پایدار	پوزیترون e^+	
	نوترینوهای ۱ و ۲ (نوترینوهای الکترون و موئون)	ν	۰	۰	$\frac{1}{2}$	پایدار	آنتی نوترینو $\bar{\nu}$	
	موزون مثبت (موئون)	μ^+	۲۰۶/۷۷	۱+	$\frac{1}{2}$	$2/20\times10^{-6}$	موزون منفی μ^-	$\mu^+ \to e^+ + \nu + \nu^-$
مزون‌ها (ذرات متوسط)	پی مثبت (پیون)	π^+	۲۷۳/۲	۱+	۰	$2/61\times10^{-8}$	پی‌مزون‌منفی π^-	$\pi^+ \to \mu^+ + \nu$
	پی خنثی	π°	۲۶۴/۲	۰	۰	$2/2\times10^{-16}$	همان خود ذره	$\pi^\circ \to 2\gamma$
	کامثبت (کائون)	K^+	۹۶۶/۵	۱+	۰	$1/23\times10^{-8}$	کامزون منفی K^-	$K^+ \to 2\pi^+ + \pi^-$ یا $2\pi^\circ + \pi^+$
	کاخنثی	K°	۹۷۴/۲	۰	۰	$1/0\times10^{-10}$	آنتی کاخنثی $\bar{K}_1$	$K_1 \to \pi^+ + \pi^-$ یا $2\pi^\circ$
					۰	$6/1\times10^{-8}$	آنتی کاخنثی $\bar{K}_2$	$K_2 \to 3\pi^\circ$

ادامهٔ جدول در صفحهٔ مقابل

ادامهٔ جدول ۲۳ـ۲

مزون‌ها (ذرات متوسط)		اتا	η	۱۰۷۴/۵	۰	۰	$>10^{-22}$	همان خود ذره $\bar{\eta}$	$\eta \to 2\gamma$
باریون‌ها (ذرات سنگین)	نوکلئون‌ها (ذرات هسته اتم)	پروتون	P	۱۸۳۶/۱۲	۱+	$\frac{1}{2}$	پایدار	آنتی پروتون $\bar{P}$	
		نوترون	n	۱۸۳۸/۰۵	۰	$\frac{1}{2}$	$1/0 \times 10^{3}$	آنتی نوترون $\bar{n}$	$n \to P + e^- + \bar{\nu}$
	هیپرون‌ها (ذرات بزرگ)	لانداخنثی	λ°	۲۱۸۲/۸	۰	$\frac{1}{2}$	$2/51 \times 10^{-10}$	آنتی لانداخنثی $\bar{\lambda}^\circ$	$\lambda^\circ \to P + \pi^-$ یا $n + \pi^\circ$
		سیگمامثبت	Σ^+	۲۳۲۷/۷	۱+	$\frac{1}{2}$	$8/1 \times 10^{-11}$	آنتی سیگمامثبت $\bar{\Sigma}^+$	$\Sigma^+ \to n + \pi^+$ یا $P + \pi^\circ$
		سیگماخنثی	Σ°	۲۳۳۱/۸	۰	$\frac{1}{2}$	10^{-20}	آنتی سیگماخنثی $\bar{\Sigma}^\circ$	$\Sigma^\circ \to \lambda^\circ + \gamma$
		سیگمامنفی	Σ^-	۲۳۴۰/۶	۱-	$\frac{1}{2}$	$1/6 \times 10^{-10}$	آنتی سیگمامنفی $\bar{\Sigma}^-$	$\Sigma^- \to n + \pi^-$
		کسی خنثی	Ξ°	۲۵۶۵	۰	$\frac{1}{2}$	$1/5 \times 10^{-10}$	آنتی کسی خنثی $\bar{\Xi}^\circ$	$\Xi^\circ \to \Lambda^\circ + \pi^\circ$
		کسی منفی	Ξ^-	۲۵۸۰/۲	۱-	$\frac{1}{2}$	$1/2 \times 10^{-10}$	آنتی کسی منفی $\bar{\Xi}^-$	$\Xi^- \to \Lambda^\circ + \pi^-$
		امگامنفی	Ω^-	۳۲۷۶/۰	۱-	$\frac{3}{2}$	$1/5 \times 10^{-10}$	آنتی امگامنفی $\bar{\Omega}^-$	$\Omega^- \to \Xi^\circ + \pi^-$

* اگر ذره‌ای دارای بار الکتریکی باشد با ضد ذره‌اش فقط در نوع بار اختلاف دارد، وگرنه اختلاف آنها در تقارن آینه‌ای است.

۳ـ بوزونها[11] و فرمیونها[12]: این طبقه‌بندی براساس رفتار ذرات بنیادی می‌باشد. بوزونها ذراتی هستند که همزیستی با یکدیگر را دوست دارند و در هر حالت کوانتیك می‌توان به تعداد دلخواه از آنها پیدا کرد. اسپین این ذرات برابر با حاصل ضرب یك عدد صحیح در $\frac{h}{2\pi}$ می‌باشد. فوتونها و مزونهای پی از جمله بوزونها محسوب می‌شوند. فرمیونها ذراتی هستند که اسپین آنها برابر با حاصل ضرب یك عدد فرد ـ نیمه در $\frac{h}{2\pi}$ است. فرمیونها برخلاف بوزونها انزواگر و تك‌رواند. الکترون، پروتون و نوترون از این گروهند و به هیچوجه حاضر به زندگی در کنار همجنسان خود نیستند. در هر حالت کوانتیك نیز تنها یك فرمیون می‌توان یافت نه بیشتر. همان طور که گازها از مکانیك آماری ماکسول ـ بولتزمان پیروی می‌کنند، بوزونها از مکانیك آماری بوز ـ آینشتاین، و فرمیونها از مکانیك آماری فرمی ـ دیراك متابعت می‌کنند.

فرمیونهای شناخته شده به دو دسته لپتونها و باریونها تقسیم می‌شوند. لپتونها (مشتق از کلمه‌ای یونانی به معنای سبك) عبارتند از الکترون، موئون، نوترینوی الکترون، نوترینوی موئون (و هم چنین ضد ذره‌هایشان). جرم لپتونها به طور نسبی کم و همگی دارای اسپین $\frac{۱}{۲}$ هستند.

لپتونها دارای خاصیت بار مانند دیگری هستند که عدد لپتونی نامیده می‌شود. به این ترتیب که عدد لپتونی فرمیونها ۱+ و عدد لپتونی ضد ذراتشان ۱ـ است. در هر واکنشی که لپتون‌ها در آن شرکت کنند، حاصل جمع جبری اعداد لپتونی باید ثابت بماند (قانون بقالپتونی). ولی با این همه عدد لپتونی منشأ هیچ کنش شناخته شده‌ای نیست. در سال ۱۹۶۱ بود که مطالعه در بارهٔ نوترینوها در آزمایشگاه بروکهیون توسط **ملوین شوارتز**[13] و دیگران آغاز شد. آنها در سال ۱۹۶۲ نشان دادند که دو نوع نوترینو وجود دارد: یکی وابسته به موئون (نوترینوی موئون) و دیگری وابسته به الکترون (نوترینوی الکترون).

باریونها از جمله فرمیونهایی هستند که اسپین آنها برابر با حاصل ضرب عددی فرد ـ نیمه در $\frac{h}{2\pi}$ است. و جرمشان برابر یا بیشتر از جرم پروتون است. (باریون در لغت یونانی به معنای سنگین است) و پروتون و نوترون از جمله ذرات این گروه محسوب می‌شوند.

---

11. Bosons (مشتق شده از نام فیزیکدان هندی زاگادیس شاندرا بوز)

12. Fermions 13. Melvin Schwartz

اینکه چرا بار الکتریکی باریونها و لپتونها برابر است یکی از پرسش‌های بی پاسخ فیزیك است. باریونها نیز خاصیت بار مانندی به نام عدد باریونی دارند. عدد باریونی برای باریونها ۱+ و برای ضد باریونها ۱ـ است. ذرات دیگر هیچکدام عدد باریونی ندارند. کنشهای متقابل قوی موجب می‌شوند که باریونها بسرعت به یکدیگر تبدیل شوند. به همین دلیل مطالعهٔ کنشهای متقابل قوی از زمانی که نخستین شتابگر پرانرژی در ۱۹۵۲ ساخته شد تا کنون، از حوزه‌های مهم پژوهش فیزیك تجربی بوده است.

در مورد اسپین ذرات بنیادی باید گفت که هرچند این ویژگی ذرات را به چرخش فرفره تشبیه می‌کنند ولی در این مورد نکاتی وجود دارد از جمله اینکه:

۱ـ در فرفره یك سطح خارجی وجود دارد که حول محور فرفره می‌چرخد.

۲ـ سرعت فرفره متغیر است.

۳ـ گشتاور مداری یا گشتاور جنبشی فرفره ثابت نیست.

اگر عامل خارجی قصد کند که چگونگی حرکت ذرات بنیادی را تغییر دهد، ذره، متلاشی و نابود می‌شود ولی تن به این کار نمی‌دهد. هرچند کاشفین اسپین، بسادگی آن را چرخش اختصاصی الکترون می‌دانستند اما از دیدگاه مکانیك کوانتا، که الکترون را مانند یك نقطه تصور می‌کند، محور یك نقطه مفهومی نخواهد داشت. از این رو چرخش یك نقطه به دور خودش و یا روی خودش نیز بی‌معنی می‌شود.

«اشکالی که پیش آمده، ناشی از این حقیقت است که راهی برای مشاهدهٔ اسپین وجود ندارد. همان طوری که نتوانسته‌ایم تصویر قانع کننده ای از موج ـ ذره الکترون و یا ذره ـ موج فوتون بدست آوریم. وجود اسپین الکترون اتمی از اینجا روشن می‌شود که به گشتاور زاویه‌ای ناشی از حرکت الکترون به دور هسته، مقداری را که وابسته به حرکت اختصاصی آن است می‌افزاییم. این مقدار بستگی به نزدیکی و دوری الکترون از هسته نداشته و برای یك الکترون آزاد یا وابسته تفاوتی ندارد. در واقع اسپین الکترون همیشه ثابت بوده و از الکترون جدا ناشدنی است. همچنین باید دانست واحد اسپین برای کلیه ذرات $\frac{h}{2\pi}$ انتخاب شده است.»[۱۴]

۱۴. الفبای مکانیك کوانتا، اثر ویتالی رایدنیك، ترجمه مجتبی جعفرپور، انتشارات گوتنبرگ، صفحه‌های ۱۱۹ و ۱۲۰

در دههٔ ۱۹۳۰ تا حدودی تصویر متقارنی از ذرات بنیادی پدید آمده بود: در مجموع چهار ذره بنیادی در دو خانوادهٔ دوتایی وجود داشت. الکترون و نوترینو که جفتی به نام لپتونها را تشکیل می‌دادند، و پروتون و نوترون نیز که جفتی بنام هادرونها[15] را به وجود می‌آورند.

از سال ۱۹۴۵ تا ۱۹۷۴ فیزیکدانان بیش از ۱۰۰ نوع ذره یافتند که از کنش متقابل قوی متأثر می‌شدند. (از آن پس به این مجموعه عنوان هادرونها داده شد) در حالیکه فقط دو نمونه جدید لپتون (ذراتی همچون الکترون که نیروی قوی را احساس نمی‌کنند) کشف کرده بودند. این لپتونهای جدید عبارت بودند از: موئون (مومزون) و یك نوترینوی دوم.

دانشمندان احساس کردند که انواع ذرات بقدری زیاد شده‌اند که همه نمی‌توانند بنیادی باشند. در جریان مطالعهٔ نیروی قوی، الگوهایی منظم در میان هادرونها پدیدار شد. این الگوها که به راه هشتگانه[16] معروفند، نقشی عمده در تحول بعدی درك فیزیکدانان از ذرات بنیادی ایفا کردند. در نهایت معلوم شد که هادرونها از ذراتی به نام کوارك تشکیل شده‌اند. در نتیجه ذرات بنیادی عبارت شدند از لپتونها و کوارکها.

«اکثریت عظیم هادرونها را می‌توان با فرض وجود فقط دو نوع کوارك، یك کوارك بالا (up) و یك کوارك پایین (down) فهمید. برای مثال نوترون و پروتون به ترتیب عبارت می‌شوند از ddu (دو کوارك d و یك کوارك u) و uud.

از خواص کوارکها این است که بار الکتریکی آنها در مورد کوارك u دو سوم بار پروتون و در مورد کوارك d، منهای یك سوم بار پروتون است.»[17]

هادرونهایی که قبل از ۱۹۷۴ کشف شدند و در این تصویر با کوارکهای بالا و پایین نمی‌گنجیدند خاصیت نامعمول دیگری داشتند که شگفتی[18] نامیده می‌شود.

در اواخر دهه ۱۹۴۰ آزمایشگران نشانه‌هایی بر وجود ذراتی یافتند که اگرچه در واکنشهای هسته‌ای قوی ایجاد می‌شدند، ولی بنظر می‌رسید که زمان تلاشی آنها به ذرات دیگر یا استحاله‌های نیروی هسته‌ای ضعیف چون تلاشی بتایی، هم خوانتر است. فیزیکدانان که از مشاهدهٔ این آثار در شگفت شده بودند، این ذرات جدید را ذرات شگفت نام نهادند.

«اما در سال ۱۹۷۴ که ذرهٔ نامتعارف دیگری به نام مزون J/Ψ (جی پاپسی) توسط برتون ریچر کشف شد و معلوم شد که در حدود ۱۰۰۰ مرتبه بیش از زمانی که نظریات متداول انتظار

---

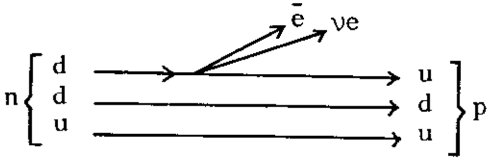
15. Hadrons 16. Eightfold Way

۱۷. کوارك‌ها و لپتون‌ها، اثر جرالد فاینبرگ و...، ترجمه م ـ حیدری خواجه پور، انتشارات گستره، صفحه ۵۷

18. Strengness

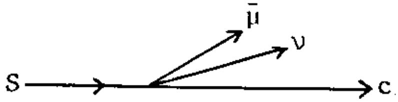
داشتند، دوام می‌آورد. دلیل طول عمر J/Ψ چنین فهمیده شد که این ذره حاوی یك کوارك و یك ضد کوارکی به نام کوارك دلربایی[۱۹] است، که دلربایی آنها برابر ولی مختلف العلامت می‌باشد. این نام را، شلدن گلاشو و جیمز بیورکن[۲۰] بر آن نهادند. پیش از آن نیز آنان در نظریهٔ تقارن کوارك ـ لپتونی خود به چاشنی کوارك چهارمی احتیاج داشتند.»[۲۱]

معلوم شد که کوارکها قابل تبدیل به یکدیگرند. برای مثال در طی تبدیل نوترون به پروتون یك کوارك d هنگامی که به کوارك u تبدیل می‌شود $\bar{e}$ و νe نیز بوجود می‌آید.

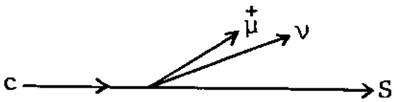


شکل ۲۳ـ۱. تبدیل کوارك d به u

همچنین در هنگام تبدیل کوارکهای دلربا (یا افسونگر) و شگفت به یکدیگر موئون و نوترینوی موئون نیز بوجود می‌آید. یعنی:



شکل ۲۳ـ۲. تبدیل کوارك s به c



شکل ۲۳ـ۳. تبدیل کوارك c به s

گویی طبیعت کوارکهای دلربا و شگفت را همراه با موئون و نوترینوی آن به صورت کپی‌هایی از کوارکهای بالا و پایین و الکترون و نوترینوی آن ساخته است. به این جفتهای کوارك و لپتون با عنوان نسلهای ذرات بنیادی[۲۲] اشاره می‌شود. کوارکهای بالا و پایین، الکترون و نوترینوی آن نسل اولند و کوارکهای دلربا و شگفت، موئون و نوترینوی آن نسل دوم می‌باشند.

در زمانی که فیزیکدانان هنوز نمی‌دانستند که چرا طبیعت خود را تکرار می‌کند، مارتین

19. Charm 20. James Bjorken

۲۱. کوارك‌ها و لپتونها، صفحه ۵۹

22. Generations

پرل[۲۳] و همکارانش در سال ۱۹۷۵ در دانشگاه استنفورد آمریکا نسل سومی از لپتونها را کشف کردند. این لپتونهای جدید ذره تاو،[۲۴] و نوترینوی مربوط به آن می باشند. تاو از پروتون سنگینتر است و از این رو نام لپتون به معنای سبك بر آن بی‌مسمی است. به این دلیل است که امروز اصطلاح لپتون را فقط برای مشخص ذراتی به کار می بریم که از نیروی قوی متأثر نمی شوند.

آیا در نسل سوم نظیری نیز برای کوارکها وجود دارد؟ این از موارد عمده ای است که در حال حاضر فیزیکدانان سرگرم تحقیق برروی آن هستند. کوارك پنجمی به نام ته یا پایین (bottom) نیز که بار آن منهای یك سوم است در سال ۱۹۷۷ کشف شد که نامزد اصلی نسل سوم کوارکهاست.

اگر براستی نسل سومی از کوارکها وجود داشته باشند، باید کوارك سر یا فوق (Top) با بار دوسوم، که همزاد کوارك (b) است، در انتظار آن باشد که کشف شود. همان طور که مزونها به عنوان ماده ای چسبنده بین پروتونها و نوترونهای هسته بحساب می آیند. بنا به فرض کوارکها نیز به وسیله ذره ای فرضی به نام گلوئون در کنار یکدیگر قرار می گیرند. این نام از واژهٔ (Glue) به معنای چسب، گرفته شده است. بنابر این فوتونها به عنوان ذره حامل نیروی الکترومغناطیسی، ذرات w و z به عنوان ذره حامل نیروی ضعیف هسته ای، گلوئونها به عنوان ذره حامل نیروی قوی هسته‌ای، و ذره گراویتون به عنوان حامل نیروی گرانشی شمرده می شوند.

جدول ۲۳ـ۳. ذرات حامل نیرو

نیروی مربوطه	ذره
قسمت الکترومغناطیسی نیروی ضعیف ـ الکتریکی (نیروی الکترومغناطیسی)	فوتون
قسمت ضعیف نیروی ضعیف ـ الکتریکی (نیروی ضعیف هسته‌ای)	w و $\overset{\circ}{Z}$ و $\overset{+}{w}$
نیروی قوی هسته‌ای	گلوئون
نیروی گرانشی	گراویتون

23. Martin Perl 24. Tau

در هر نسل جرم کوارکهای b, s, d و... بزرگتر از جرم لپتونهای باردار نظیرشان است. اما نسبت آنها با افزایش جرم، کم می‌شود.

جدول ۲۳ـ۴.

	نسل اول	نسل دوم	نسل سوم
نسبت جرم کوارکها به لپتونها	$\frac{d}{e} \simeq ۲۰$	$\frac{s}{\mu^-} \simeq ۵$	$\frac{b}{\tau} \simeq ۲$

اگر این نظریه درست باشد و اگر نسلهای دیگری کشف شوند، جرمهای لپتونها و کوارکها به هم نزدیك شده و سرانجام در جرمی در حدود $۱۰^{۱۵}$ برابر جرم پروتون، اندازهٔ جرم‌هایشان برابر می‌شود. در چنین مقیاسی از جرم، گرانش وارد صحنه می‌شود و کسی نمی‌داند که آن وقت چه روی می‌دهد.

در حال حاضر برای هر کوارك سه حالت رنگی در نظر می‌گیرند. البته این رنگها ارتباطی با رنگ عادی اجسام ندارد، و در واکنشهای الکترومغناطیسی نقشی مشابه با بار الکتریکی ایفا می‌کنند.

در جمع‌بندی آخرین نظریات اتمی می‌توان گفت که همهٔ ذرات بنیادی جهان در دو گروه کوارکها و لپتونها طبقه‌بندی می‌شوند.

جدول ۲۳ـ۵. جدول لپتون‌ها و کوارك‌ها

	اولین نسل	دومین نسل	سومین نسل
لپتونها	الکترون e نوترینوی الکترون ν_e	موئون μ نوترینوی موئون ν_μ	تاو τ نوترینوی تاو ν_τ
کوارکها	بالا u پایین d	شگفتی s افسونگر c	سر t ته b

نیوتن با تئوری گرانشی خود فیزیك زمین و فیزیك فضایی را به هم پیوند داد. ماکسول به یکی بودن میدانهای الکتریکی و مغناطیسی پی برد و نور را نیز در این دو میدان جای داد. آینشتاین با کمك نسبیت خود مشابهت میدانهای الکترومغناطیسی و گرانشی را روشن ساخت. و سرانجام محمد عبدالسلام و جوگش پاتی[۲۵] فیزیکدان هندی حتی کوارکها و لپتونها را نیز ذرات بنیادی واقعی نمی‌دانند و حدس می‌زنند که اینها نیز از ذراتی به نام پریون[۲۶] تشکیل شده باشند.

آینشتاین در کتاب تکامل علم فیزیك می نویسد: «هر پیشرفتی پرسشهای جدیدی را نیز همراه خود می‌آورد. و همراه هر تکاملی، اشکالات تازه و عمیقتری آشکار می شود. علم کتابی نیست که به آخر رسیده باشد و هرگز هم چنین نخواهد بود..... در علم هیچ تئوری جاودانی وجود ندارد.....»

25. Jogesh Pati 26. Preon

فصل بیست و چهارم

تولد، زندگی و مرگ جهان

در فصلهای گذشته به تأثیرات متقابل فلسفه، ریاضی و شیمی با مبحث فیزیك اتمی اشاره هایی شده است. در این فصل برآنیم که به مسئله ای نجومی ـ فیزیکی به نام «تولد زندگی و مرگ جهان» بپردازیم.

در مورد یك سیب می توان از نقطه نظرهای چندی بررسی و تحقیق نمود. به عبارت دیگر سیب را می توان از دیدگاه علم شیمی، یا علم فیزیك، یا علم اقتصاد و یا علم گیاه شناسی مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. حتی شاعری با دیدن سقوط یك سیب ممکن است که خاطرات تلخ خود را به یاد آورد:

«سیب ها
از شاخه فرو افتادند
و عشق
از شاخسار چشمان مهربان او
در بهاری که خزانی بیش نیست
در فصل پرستش نان و طلا.....»

در زمانی نه چندان دور ایزاك نیوتن با دیدن سقوط سیبی از درخت، شاهد جرقه ای می شود که خرمن اندیشه هایش را به آتش می کشد. و در نتیجه قانون جاذبه را کشف می نماید. از سیب که بگذریم گفتنی است که با وجود تکمیل و اصلاح قانون جاذبهٔ نیوتنی توسط

آینشتاین، هنوز هم طبیعت فیزیکی نیروی جاذبه همچنان ناشناخته مانده است. این نیرو در مسافتهای بیش از چندین میلیون کیلومتر مؤثر است و به وسیله اجسام دیگری هم که در میان راه واقع شده اند جذب نمی شود. در هنگام خسوف یعنی در زمانیکه زمین بین ماه و خورشید قرار گرفته، انحراف قابل اندازه گیری در این نیرو مشاهده نمی شود. واقعیت جالبتر اینکه نیروی جاذبه برای تمام اجسام هم جرم برابر است و بستگی به ترکیبهای شیمیایی و ویژگیهای فیزیکی آنها ندارد. به هرحال اجداد همان سیب نامبرده، آدم و حوای ما را آنچنان وسوسه نمودند که آنان آرامش بهشتی خود را برای همیشه از دست دادند.

در ورای مباحثی چون فیزیك و شیمی و ریاضی، برای بشر همیشه مسئلهٔ کلی تری بنام «شناخت» وجود داشته و حدود شناخت عقلی همواره یکی از اساسی ترین مباحث فلسفی بوده و هست. **ایمانوئل کانت**[1] (۱۸۰۴ـ۱۷۲۴) فیلسوف آلمانی، آنجا که می خواهد محدودیت عقل و تجربهٔ بشری را ترسیم کند، چنین اظهار می دارد: «عقل بشر نمی تواند بپذیرد که این جهان دارای انتهایی باشد، زیرا که اگر جهان دارای انتهایی باشد، عقل می پرسد پشت این انتها چه چیزی قرار گرفته است؟ ولی از طرف دیگر عقل بازهم نمی تواند بپذیرد که این جهان بی انتها باشد، و برای عقل، تصور بی انتهایی جهان کار غیرممکنی است. زیرا هرچه که در اطراف خود می بینیم دارای انتها و حدودی است. ولی در هر حال این جهان در عمل یا دارای حدودی هست یا نیست.»

این از مقدمه مطلب و اما ادامهٔ بحث خود را ابتدا از ستارگان شروع خواهیم کرد، سپس منظومهٔ شمسی را بررسی کرده و در آخر به تئوریهای مربوط به آغاز و انجام عالم می پردازیم:

الف ـ ستارگان

در سیاره ای[2] چون زمین، کشش جاذبه ای آنچنان زیاد نیست که بتواند نظم طبیعی اتمها را در هم بریزد. حتی در مرکز زمین که هزاران کیلومتر خاك و سنگ بر روی اتمها سنگینی می کند، بازهم پوستهٔ الکترونی درهم نمی شکند. و این در حالی است که «درسال ۱۹۱۱ **راترفورد** نشان داد که اتمها اجسام جامد و سختی نیستند و تنها قسمت سخت و جامدشان هستهٔ کوچك آنهاست. هستهٔ اتم آن قدر کوچك است که باید ۱۰۰/۰۰۰ تا از آنها را کنار هم

1. Immanuel Kant 2. Planet

قرار داد تا خطی به قطر یك اتم تنها تشکیل شود.»[۳]

اما در مورد ستاره هایی[۴] چون خورشید که صدها هزار مرتبه از زمین بزرگترند و جاذبه ای خیلی قوی دارند، مسئله فرق می کند. پوستهٔ الکترونی اتمها واقع در مرکز ستاره ها درهم می شکند و الکترونها به جای گردش به دور هسته، حرکات هرز و نامشخصی را دنبال می کنند. در نتیجه، هستهٔ اتمها نیز می توانند آزادانه حرکت کرده و با یکدیگر برخورد نمایند و یا به یکدیگر بچسبند. از این همجوشی یا فیوژن، انرژی زیادی حاصل می شود؛ یعنی در ستاره ها از تبدیل چهار هستهٔ هیدروژن (کوچکترین اتم موجود) به یك هستهٔ هلیوم (کوچکترین اتم بعد از هیدروژن) آن قدر انرژی تولید می شود که ستارگان می توانند قسمتی از حرارت خود را در جهات مختلف منتشر سازند. (به همین دلیل است که ستارگان می درخشند.)

امروزه عقیده بر آن است که ستارگان، بیشتر، از هیدروژن و هلیوم، و مقدار کمی هم از عناصر دیگری که بین ستارگان یك کهکشان[5] وجود دارد، بوجود می آیند. توازن بین تولید انرژی و گرانش در یك ستاره چنان پایدار است که ستاره برای میلیونها سال می تواند به یك حالت باقی بماند. این دورهٔ سوختن هیدروژن در واقع طولانی ترین مرحلهٔ زندگی یك ستاره است. برای مثال ستاره ای چون خورشید ۱۰/۰۰۰ میلیون سال طول می کشد تا تمام هیدروژن خود را به مصرف برساند (در حال حاضر خورشید در حدود ۵/۰۰۰ میلیون سال عمر دارد)

دانشمندان براساس جرم ستارهٔ اولیه یعنی جرم ستارهٔ توالی اصلی[۶] برای ستارگان به طور معمول سه نوع سرنوشت در نظر گرفته اند:

۱ـ اگر جرم ستاره ای در حدود جرم خورشید باشد (ستاره توالی اصلی کوچك)؛ ستاره ابتدا به «غول قرمز»[۷] و سپس به «کوتوله سفید»[۸] تبدیل می شود.

به محض آنکه ستارگان تمام هیدروژن موجود در بخش مرکزی خود را به مصرف می رسانند دیگر نمی توانند در برابر گرانش مقاومت کنند، و بخش مرکزی آنها انقباض خود را شروع می کند. در طی این انقباض، انرژی زیادی آزاد می شود و لایه های بیرونتر به طرف بیرون فشار داده می شوند. لایه های بیرونی ستاره برای جبران فشردگی هسته تا حدود یك صد برابر اندازهٔ قبلی ستاره، منبسط می شوند. در نتیجه به علت زیاد شدن سطح خارجی، دمای

۳. سیاهچاله ها، اثر ایزاك آسیموف، ترجمه علی نوری، انتشارات نشر دنیای نو، صفحه ۱۷

4. Star 5. Galaxy 6. Main - Sequence Star 7. Red Giant

8. White Dwarf

سطحی ستاره به حدود ۳۰۰۰ درجهٔ سانتی گرادتنزل می یابد و رنگ ستاره از سفید و آبی یا زرد به قرمز تغییر پیدا می کند. در این حالت است که ستاره را «غول قرمز» می نامند. «به احتمال زیاد میلیونها سال دیگر وقتی که خورشید به یك غول قرمز تبدیل شود، زمین آن قدر داغ خواهد شد که هیچکس نمی تواند روی آن زندگی کند.»[۹]

سرنوشت نهایی یك ستاره پس ازمرحله تبدیل شدن به غول قرمز، بستگی به جرمش دارد. ستاره اگر در حد خورشید باشد، پوسته های رقیق بیرونی خود را به دور انداخته و آن قدر در خود فشرده می شود که به یك کوتوله سفید تبدیل می گردد. یك کوتولهٔ سفید اگر، هم جرم با خورشید باشد، حجمش برابر با حجم کره زمین خواهد بود. یك کوتولهٔ سفید همچنین دارای هیچ منبع انرژی و هیچ واکنش هسته ای درونی نیست. و زندگی خود را با گرمای باقیمانده از دوران گذشته اش سر می کند. با گذشت زمان نیز این ستاره همهٔ گرمای خود را به فضای اطرافش منتقل نموده و سرانجام پس از سرد و تاریك شدن به صورت یك کوتوله سیاه و درواقع به صورت یك ستارهٔ مرده درمی آید.

۲ـ اگر جرم ستاره ای بیشتر از جرم خورشید باشد (ستاره توالی اصلی بزرگ)، ستاره، ابتدا به «غول قرمز» و سپس به «ابرنواختر» یا سوپرنووا[۱۰] و در نهایت به یك «ستارهٔ نوترونی»[۱۱] تبدیل می شود.

هرچه جرم یك ستاره بیشتر باشد، هنگام تبدیل شدن به غول قرمز انبساط بیشتری پیدا می کند و سرانجام با تمام شدن سوختش، با سرعت بیشتری از هم می پاشد. در پایان عمر یك غول قرمز، واکنشهای هسته ای نزدیك به مرکز آن، ناپایدار شده و ستاره، خود بخود به صورت یك ابرنواختر منفجر می شود. (البته انفجارات در بخش خارجی ستاره اتفاق می افتد، به طوری که کل ستاره قطعه قطعه نخواهد شد.) در این انفجار عظیم، ابرنواختر در مدتی کوتاه با درخشندگی هزار میلیون برابر خورشید می درخشد.

پس از آنکه لایه های بیرونی یك سوپر نووا به صورت گاز پراکنده شدند، ستاره، در خود فرو رفته تا به قطری حدود ۲۰ کیلومتر برسد. در طی این فشردگی الکترونهای آن با پروتونها ترکیب شده و به نوترون تبدیل می شوند. هنگامی که نوترونها به حد کافی به هم تراکم یافتند،

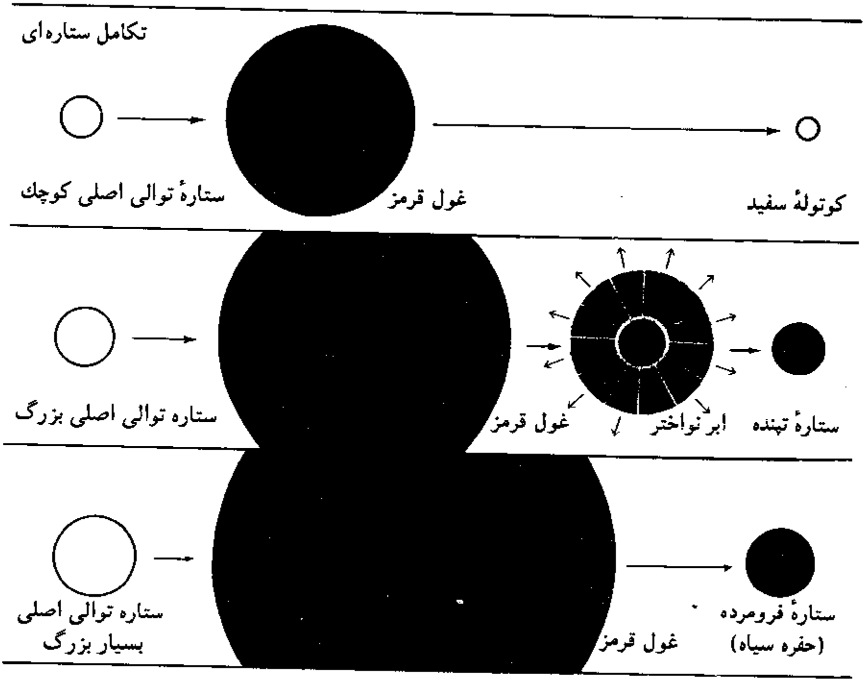
---

۹. ستارگان، اثر پاتریك مور، ترجمه علیرضا توکلی صابری، انتشارات روزبهان، صفحه ۳۹

10. Super Nova 11. Neutron Star

فشردگی متوقف خواهد شد. در این حالت ستاره را «ستارهٔ نوترونی» می نامند. وقتی ستاره های نوترونی به دور خود می چرخند از خود اشعهٔ گاما و اشعه ایکس و امواج رادیویی صادر می کنند، ولی این تابشها به صورت تپشی هستند که حکایت از سرعت دورانی بسیار زیاد این ستارگان می کند. به همین دلیل به ستارگان نوترونی چرخنده، «ستارگان تپنده» یا پولسارها[12] نیز می گویند.

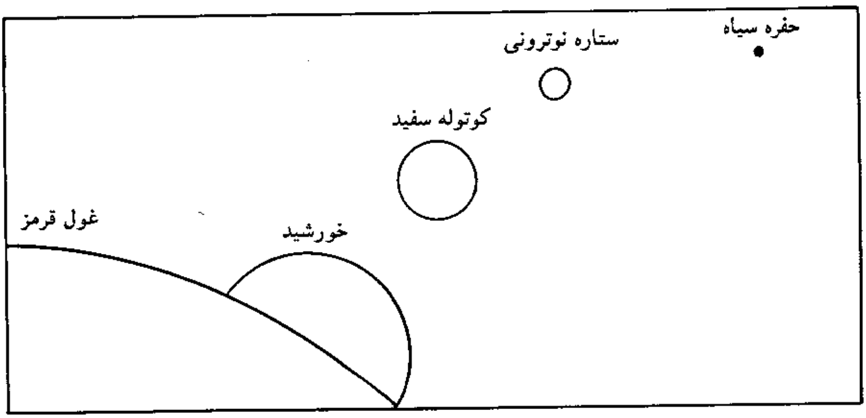
۳ـ اگر ستاره ای در گروه «ستارگان توالی اصلی بسیار بزرگ» باشد، این ستاره ابتدا به صورت «غول قرمز» درمی آید و چون بسیار پرجرم تر از آن است که به یك ابرنواختر تبدیل شود آن قدر به انقباضات خود ادامه می دهد تا به یك «سیاهچاله» یا «حفرهٔ سیاه»[13] تبدیل گردد.



شکل ۲۴ـ۱. انواع ستاره ها

12. Pulsar 13. Black Hole

در سال ۱۹۳۹ رابرت اوپنهایمر اعلام کرد که اگر یك ستارهٔ در حال از هم پاشیدن، بزرگتر از ۳/۲ برابر اندازهٔ خورشید باشد، آنگاه نه تنها الکترونها، بلکه نوترونهای آن نیز بر اثر کشش جاذبه‌ای در هم می‌شکنند، و ستاره، به یك حفرهٔ سیاه تبدیل می‌شود. «حفرهٔ سیاه، منطقه‌ای دارای گرانش مقاومت ناپذیر، با قطری تنها به اندازهٔ چند کیلومتر است، این ستاره، حفره است چون که هرچیزی در آن بیفتد هرگز نمی‌تواند دوباره از آن بیرون بیاید، سیاه است زیرا که هیچ نوری نمی‌تواند از درون آن بگریزد.»[۱۴] از اجرامی که به درون حفرهٔ سیاه کشیده می‌گردد، پیش از آنکه در حفره ناپدید شوند پرتوهای ایکسی صادر می‌شود که برخلاف تشعشعات ستارگان نوترونی، این تشعشعات تپشی نیستند. یك سیاهچالهٔ کوچك هنگامی که دیگر خیلی خیلی کوچك گردید، یك مرتبه، تبخیرهایش حالت انفجاری بخود گرفته و تشعشعاتی چون اشعهٔ گاما نیز از خود منتشر می‌نماید.



شکل ۲۴ـ۲. اندازه‌های مختلف ستاره‌های هم وزن

اگرجسمی در زمین ۵۰ کیلوگرم وزن داشته باشد، در خورشید ۱۴۰۰ کیلوگرم، در ستارهٔ کوتوله سفید ۱۰۶۰×۱۰^{۳} کیلوگرم، در ستارهٔ نوترونی ۱۴۰۰۰×۱۰^{۹} کیلوگرم و در یك سیاهچاله خیلی بیشتر از ۱۴۰۰۰×۱۰^{۹} کیلوگرم وزن خواهد داشت.

۱۴. مجله پیام یونسکو، ویژه نامه داستان کیهان، مهر ۱۳۶۵

ب ـ منظومه شمسی[15]

مجموعهٔ جرم اعضای خانوادهٔ شمسی فقط کمی بیش از یکدهم از یك درصد جرم خورشید می شود. یعنی ۹۹/۹ درصد جرم منظومهٔ شمسی در خورشید متمرکز شده است. ولی با این همه خورشید از لحاظ جرم و حجم و چگالی و درجه حرارت ستاره ای متوسط بحساب می آید که میلیاردها ستارهٔ دیگر شبیه به آن در کهکشان ما یعنی در کهکشان راه شیری[16] وجود دارد.

«تمام نظریه های پیدایش منظومهٔ شمسی با این فرضیه شروع می شوند که محیط اولیهٔ کهکشان راه شیری متشکل از گاز بوده (احتمالاً فقط هیدروژن) و دور محوری می چرخیده است. این دوران باعث شده که کهکشان گازی، پهن شدگی پیدا کند و به شکل امروزی خود که شبیه عدسی است درآید.»[17] اکنون عقیدهٔ عمومی بر این است که اعضای منظومه شمسی از سه نسل هستند؛ خورشید با عمری حدود ۵ بیلیون سال تنها عضو نسل اول است. سپس سیارات و سیارکها که اندکی دیرتر بوجود آمده اند، نسل دوم را تشکیل می دهند. ماهواره ها یا قمرها که فرزندان سیارات محسوب می شوند، به تبع، نسل سوم محسوب می شوند.

در مورد چگونگی شکل یافتن منظومهٔ شمسی تئوریهای زیادی وجود دارد که از همه مشهورتر دونظریهٔ زیر است.

۱ـ فرضیه سحابی لاپلاس[18] یا فرضیه ابرهای گازی:[19]

فرضیهٔ ابرها نخستین بار توسط **ایمانوئل کانت** در سال ۱۷۵۵ مطرح گردیده و در سال ۱۷۹۶ مستقلاً توسط **پیرسیمون لاپلاس**[20] (۱۷۴۹ـ۱۸۲۷) ریاضیدان و منجم فرانسوی، بیان و توسعه داده شده است. طبق این فرضیه، منشأ منظومهٔ شمسی یك ابر گازی بوده که در طول چرخش خود متراکم گردیده است. بنا بر قانون بقای اندازه حرکت زاویه ای، وقتی که این ابر به علت جاذبه خود متراکم گشت، سرعت دوران آن افزایش یافت، و در نتیجه، برآمدگی کمربند مانندی دور استوای آن بوجود آمد. کم کم این برآمدگی نیز افزایش یافت، تا وقتی که

---

15. Solar System 16. Milky Way Galaxy

۱۷. مبانی نجوم، اثر استروو و لیندز و پیلانز، ترجمه حسین زمردیان وبهروز حاجبی، انتشارات دانشگاه تهران، صفحه ۲۸۳

18. Nebular Theory Of Laplace 19. Nebular Hypothesis

20. Pierre Simon Laplace

سرانجام این سرعت دورانی، آن را از بقیهٔ ابر جدا ساخت؛ در این حالت بود که تشکیل حلقه‌های گازی در سطح استوا امکان‌پذیر شد. این فعل و انفعال توسط ابر چندین بار دیگر نیز تکرار گردید، و در نتیجه یك سری حلقه‌های گازی متحدالمرکزی بوجود آمد که هر کدام از آنها پس از تراکم کافی سیاره‌ای را تشکیل دادند. از متراکم شدن قسمت باقیمانده نیز خورشید بوجود آمد. با پیشروی تراکم، سیارات دوباره نسبت به چرخش خود ناپایدار شده و حلقه‌های گازی پس از جدا شدن از آنها قمرها را یکی پس از دیگری بوجود آوردند.

۲ـ فرضیه کشندی:[۲۱]

بر طبق فرضیه کشندی سیارات بر اثر کشندهای عظیمی بوجود آمده اند که عبور ستاره ای دیگر از نزدیکی خورشید در آن ایجاد کرد. گازهای متراکمی که از خورشید جدا شدند، دارای حرکتی در امتداد حرکت ستارهٔ گذرنده بودند. بخشی ازمادهٔ جدا شده را احتمالاً این ستاره همراه خود برد. بخشی دیگر نیز به طور حتم به سطح خورشید بازگشت. قسمت سومی نیز وجود داشت که نیروی گریز از مرکز وارد بر آن به اندازه ای بود که بر جاذبهٔ گرانشی برتری یافت؛ از این قسمت بود که سیارات بوجود آمدند.

«این فرضیه که در سال ۱۹۰۰ به وسیله **فارست مولتن**[۲۲] و **توماس چمبرلین**[۲۳] از دانشگاه شیکاگو پیشنهاد شد، در ابتدا نظریهٔ «خرده سیارات»[۲۴] نام داشت. این نامگذاری حاکی از آن است که نتیجهٔ عمل کشندی، فقط ایجاد سیاراتی خرد بود. این خرده سیارات با جذب مادهٔ پراکندهٔ اطراف خود منظومه‌ای از نه سیاره شناخته شده را بوجود آوردند. در یك فرضیه دیگر که به فرضیه تصادم معروف است، فرض می‌شود که برخورد خورشید و ستارهٔ میهمان در واقع یك تصادم و برخورد بوده است.»[۲۵]

پ ـ آغاز و انجام عالم

آینشتاین در سال ۱۹۱۷ یعنی یکسال پس از تکمیل نظریهٔ نسبیت عمومی، کوشید تا جواب معادلاتی را پیدا کند که هندسهٔ فضا ـ زمان کل جهان را توصیف نماید. از آنجا که در آن

---

21. Tidal Theory 22. Forrest Moulton 23. Thomas Chamberlin

24. Planetesimal Theory

۲۵. ستارگان، اثر پاتریك مور، صفحه ۷۳

دوران، کل جهان راهمگن، تکروند و ایستا و ساکن درنظر می گرفتند، آینشتاین نیز در برابر نیروی جاذبه گرانشی که باعث انقباض جهان می‌شد، با وارد کردن عاملی به نام ثابت کیهانشناختی[۲۶] در معادلات خود، جهان را به شکل کره‌ای ساکن به تصویر کشید. ثابت کیهانشناختی در ظاهر یك نیروی دافعهٔ مفروضی بود که در فواصل بسیار زیاد اثر خود را نشان می‌داد، و موجب توازن جهان می‌شد.

اما **ادوین هابل**[۲۷] پس از رصدها و محاسبات زیاد خود، سرانجام درسال ۱۹۲۳ به این نتیجه رسید که خطوط طیفی کهکشانها به جانب سرخ، یعنی به سمت طول موجهای بلندتر تغییر مکان می‌یابد. هابل با توجه به اثر دوپلر ـ فیزو اعلام کرد که کهکشانها در حال دور شدن از یکدیگرند (جهان در حال انبساط). از آنجا که کهکشانها از ما بسیار دور هستند، حرکت آنها را نمی‌توانیم مشاهده کنیم و آنها را نیز قرمزتر نمی‌یابیم. ولی هابل کشف کرد که تغییر مکان خطوط طیف کهکشانها به طرف سرخ تقریباً به نسبت فاصلهٔ آنها از ما افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر: سرعت پس روی = ثابت هابل × فاصله کهکشانها

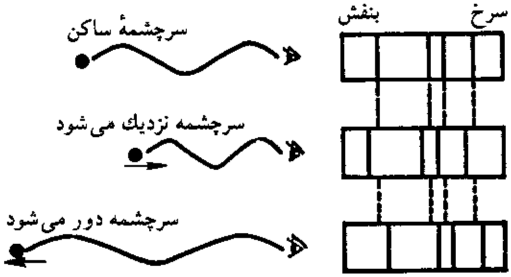
یوهان کریستیان دوپلر[۲۸] در سال ۱۸۴۲ متوجه شد که اگر قطاری به طرف ما حرکت کند، با آنکه سرعت صوت در هوا تغییر نمی‌کند، ولی چون هر موج نسبت به موج قبلی خود فاصلهٔ کمتری را طی می‌کند تا به گوش برسد، در نتیجه ما، صدای قطار را زیرتر خواهیم شنید. همین اثر در مورد نور هم اتفاق می‌افتد. درست همان طور که صداها با زیر و بمی مختلفشان دارای فرکانسهای متفاوتی می‌باشند، نورهای با رنگهای مختلف نیز فرکانسهای متفاوتی دارند. و ازآنجا که فرکانس نور آبی دو برابر فرکانس نور قرمز است، جسمی که از ناظر دور می‌شود «قرمز» بنظر می‌آید. و برعکس جسم نزدیك شونده «آبی» بنظر می‌رسد.

بدنبال کشف هابل، در سالهای ۱۹۲۰ ریاضیدان و کشیش بلژیکی، **ژرژ ادوارد لومتر**[۲۹] به این نتیجه رسید که چون کهکشانها از یکدیگر دور می‌شوند، پس در گذشته های دور، همهٔ اجرام جهان در یك نقطه، متمرکز بوده‌اند، که بر اثر نوعی انفجار از یکدیگر دور شده و می‌شوند.

لومتر با استفاده از نسبیت عام، کوشش نمود که جهانی را در حال انفجار بیان کند (تئوری

26. Cosmological Constant 27. Edwin Hubble 28. Johan Christian Doppler
29. George E. Lemaitre

انفجار بزرگ)[30]. در همین راستا آینشتاین بعدها با افسوس بسیار، استفاده از ثابت کیهانشناختی را بزرگترین اشتباه عمر خود قلمداد کرد.



شکل ۲۴_۳. اثر دوپلر ـ فیزو در مورد تغییر خطوط طیفی

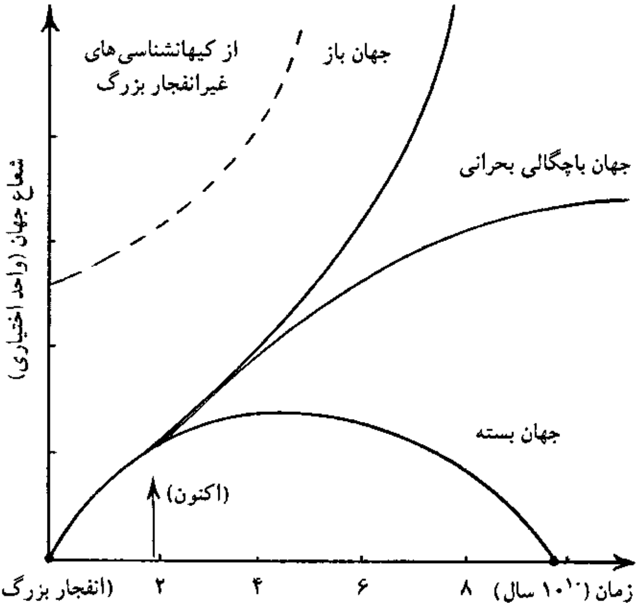
در سال ۱۹۲۲، الکساندر فریدمان[31] روسی، مدلی ریاضی از ساختمان فضا ـ زمانی جهان را براساس فرضیه نسبیت عمومی (بدون ثابت کیهانشناختی) تدوین نمود. مدلهای فریدمان، از دوگونه متفاوت هستند. اگر چگالی متوسط ماده در جهان کمتر از مقدار بحرانی معینی باشد، جهان از نظر فضایی، نامتناهی است. در این صورت انبساط کنونی جهان تا ابد ادامه خواهد یافت (جهان باز). از سوی دیگر اگر چگالی بیشتر از این مقدار بحرانی باشد، میدان گرانشی که از ماده ناشی می‌شود، جهان را برخود خم می‌کند و جهان مانند سطح یك کره، متناهی و بیکرانه است (جهان بسته).

چگالی بحرانی با مجذور ثابت هابل متناسب است با مقدار مورد قبول کنونی ثابت هابل یعنی ۱۵ کیلومتر در ثانیه در هر میلیون سال نوری. چگالی بحرانی برابر ۵×۱۰^{-۳۰} گرم در سانتی متر مکعب، یا حدود سه اتم هیدروژن در هر هزار لیتر فضا است.

در نظریه «حالت پایدار»[32] که در اواخر سال ۱۹۴۰ توسط سه دانشمند انگلیسی **هرمان باندی**،[33] **توماس گولد**،[34] و به صورتی متفاوت به وسیله **فردهویل**[35] پیشنهاد شد؛ جهان همیشه به همین صورت کنونی بوده است و هر قدر که انبساط می‌یابد، مادهٔ تازه‌ای به طور پیوسته در آن خلق می‌شود تا شکافهای میان کهکشانها را پر کند. در این تئوری مسئلهٔ جهان

30. Big Bang 31. Alexandre Friedmann 32. Steady State
33. Herman Bondi 34. Thomas Gold 35. Fred Hoyle

آغازین حذف شده است. و درحقیقت جهان آغازینی وجود نداشته است.



شکل ۲۴ـ۴

اگر این فرضیه درست باشد، پس مادهٔ تازه از کجا می‌آید؟ برخی براحتی گفتند: از هیچ، ولی هویل پاسخ می‌دهد که ممکن است انرژی لازم برای آفرینش ماده تازه از انرژی انبساط نتیجه شود.

از نظر این فرضیه برای جبران کامل انبساط می بایستی بیش از یك اتم هیدروژن تازه در هر ۳/۸ لیتر فضای در حال انبساط تولید شود. آن هم یك بار در هر ۲۵۰ میلیون سال.

در اواخر دهه ۱۹۴۰ به دنبال نظریه‌ای در بارهٔ سنتز هسته‌ای براساس انفجار بزرگ، **جورج گاموف**[۳۶] (و بعدها مستقلاً **زلدویچ**[۳۷] و فرد هویل) را به این نکته کشانیده بود که می بایستی زمینه ای تشعشعی با دمای ۵ درجه کلوین در همهٔ جهان، از آن انفجار نخستین باقی مانده باشد. تا اینکه در سال ۱۹۶۴ هنگامی که **آرنو پنزیاس**[۳۸] و **رابرت ویلسون**[۳۹] با کمك یك

36. Georg Gamow 37. Y. B. Zeldovich 38. Arno Penzias

39. Robert Woodrow Wilson

آنتن رادیویی حساس مشغول بررسی علایم ضعیف رادیویی برگشتی از ماهواره‌ها بودند، با شگفتی علامت ضعیف ولی یکنواختی را یافتند که از همهٔ جهات فضا می‌آمد. گویی فضا پر از امواج رادیویی بسیار ضعیفی است که دارای انرژی‌ای معادل ۳ درجهٔ کلوین می‌باشد.

پرسشی که بوجود آمد، این بود که این انرژی از کجا آمده است؟ سرانجام آنان پاسخ مناسب را یافتند: این تابش ضعیف ۳ درجه کلوینی می‌تواند پژواك خود حادثهٔ بزرگ باشد. یعنی آخرین اثر ازگوی آتشینی که کیهان در آن زاده شده است.

به خاطر چنین فاکتهایی عده‌ای از دانشمندان از جمله استیون واینبرگ[40] معتقدند که جهان به احتمال زیاد با یك انفجار بزرگ متولد شده است. انفجاری که به طور همزمان در همه جا، روی داد. پس می‌توان گفت که در آغاز فقط نور بود. در زمانی حدود ۱۵ میلیارد سال پیش ذرات الکترونها، پوزیترونها، نوترینوها و فوتونها به طور مداوم از انرژی ناب بوجود می‌آمدند و آنگاه پس از عمری کوتاه دوباره نابود می‌شدند.

«با ادامه انفجار، دما کاهش یافت و پس از یك دهم ثانیه، به سی هزار میلیون درجه سانتی‌گراد، و بعد از یك ثانیه به ده هزار میلیون درجه، و پس از چهارده ثانیه به سه هزار میلیون درجه رسید. در این لحظه، دما آن قدر کم شده بود که نابودی الکترونها و پوزیترونها، سریعتر از ایجاد مجدد آنها از فوتونها و نوترینوها، می‌توانست صورت پذیرد. شگفت آنکه در این هنگام به علت یك نابرابری جزئی در ذرات ماده باعث حذف ضدماده شد.

سرانجام در پایان اولین سه دقیقه، دما به یك هزار میلیون درجه رسید. دیگر آن قدر سرد شده بود که پروتونها و نوترزونها شروع به ایجاد هسته‌های پیچیده اتمی کنند. و این کار از هستهٔ هیدروژن سنگینی که از یك پروتون و یك نوترون تشکیل می‌شود آغاز شد.

چگالی هنوز آن قدر زیاد بود که این هسته‌های سبك نمی‌توانستند به سرعت در پایدارترین هسته سبك یعنی در هستهٔ هلیوم که مرکب از دوپروتون و دو نوترون است، مجتمع شوند.

این مجموعه همچنان از هم می گسیخت و پیوسته سردتر و رقیقتر می شد. می بایست مدتها بعد، پس از چند صدهزار سال، این ماده بقدری سرد شود که الکترونها بتوانند به هسته‌ها بپیوندند و اتمهای هیدروژن و هلیوم را بوجود آورند. گاز حاصل به تأثیر از گرانش می بایست

40. Steven Weinberg

قطعه قطعه شود، و این قطعه‌ها آن قدر منقبض شوند تا کهکشانها و ستارگان جهان کنونی را پدید آورند.»[۴۱]

وقتی که هیدروژن موجود در هستهٔ داغ ستاره ای تمام می شود، هلیوم موجود در آن شروع به سوختن و تولید کربن و اکسیژن می نماید. این فرایند به طور متوالی ادامه می‌یابد تا عناصر سنگینتر تشکیل یافته و منتهی به تشکیل سیلیکون شود و در اثر احتراق آن آهن بوجود آید. آهن باثبات‌ترین عنصری است که نمی‌توان به کمك فرایند هسته‌ای از آن استخراج نمود. حرارت دادن عناصر سنگینتر ازآهن، مثلاً طلا و اورانیوم، مستلزم انرژی خالص می باشد. چنین انرژی‌ای به صورت مازاد انرژی ستاره ای و به مقدار زیاد و فقط در هنگام آشفتگی فعالیت هسته ای که در زمان انفجار ستاره ای پیر رخ می‌دهد، حاصل می شود. بدین دلیل است که طلا و اورانیوم نسبت به اکسیژن و آهن بسیار کمترند.

از نظر هواداران نظریه انفجار بزرگ، کهکشانها هنوز هم در حال دور شدن از یکدیگر می باشند. و اگر به آیندهٔ دور نظر افکنیم، به زمانی خواهیم رسید که همهٔ ستارگان نور و گرمای خود را مصرف کرده اند. به طوری که گویی جهان مرده است.

از دیدگاه عده ای از دانشمندان، براثر عمل و عکس العمل دو نیروی گرانشی (حاصل از مجموعه اجرام آسمانی) و انبساطی (حاصل از انفجار بزرگ) امکان دارد که در هر شصت هزار میلیون سال یك بار انفجاری بزرگ بوقوع بپیوندد (جهان نوسان کننده یا جهان تکرار شونده یویویی).[۴۲]

در مجموع بسیار مشکل می‌توان اعتقاد داشت که کدامیك از این نظریه‌ها صحیح می باشد. البته ممکن است همگی آنها غلط باشند. ولی به هر حال علم چاره ای ندارد بجز آنکه با حقایق نسبی بسازد. شاید به همین دلیل است که اکثر دانشمندان افرادی صلح‌طلب و آزاد اندیشند. تاریخ تکامل علوم نشان می‌دهد که هیچکس مصون از خطا نمی‌تواند باشد.

هنگامی که نظر **محمد عبدالسلام** فیزیکدان مسلمان پاکستانی و برندهٔ جایزه نوبل را در مورد پدیدهٔ انفجار بزرگ جویا شدند، او گفت: «پدیدهٔ انفجار بزرگ هنوز کاملاً مورد تأیید و یا رد قرار نگرفته. اگر رد بشود که هیچ، حتماً دلایل علمی داشته است. اما اگر مورد تأیید قرار

۴۱. انبساط جهان، اثر استیون واینبرگ، ترجمه محمدرضا خواجه پور، انتشارات دنا، صفحه‌های ۱۶ و ۱۷
42. Yo Yo Universe

بگیرد و علمی بودن آن در آینده ثابت شود، فکر نمی کنم برخلاف گفتار قرآن باشد. گفته های قرآن مسلماً طوری هست که بتوان در تأیید این مسئله برداشتهایی کرد. و ما نباید با این مسئله که تئوری انفجار بزرگ از نظر قرآن یکسره مطرود است، به این گونه برخورد کنیم.»[۴۳]

۴۳. اطلاعات علمی، شماره ۲۳، آذر ۱۳۶۷، صفحه ۵۴

فصل بیست و پنجم

برندگان جایزه نوبل در رشته فیزیک

۱۹۰۱

ویلهلم کنراد رونتگن[1] (۱۹۲۳ـ ۱۸۴۵) از آلمان به خاطر کشف اشعه ایکس و یا اشعه رونتگن. (ر.ك فصل هفتم)

۱۹۰۲

هنریك آنتون لورنتز[2] (۱۹۲۸ـ۱۸۵۳) از هلند، به همراه پیتر زیمان[3] (۱۹۴۳ـ ۱۸۶۵)، از هلند به خاطر پژوهش‌هایشان دربارهٔ تأثیر میدان مغناطیسی بر پدیده تابش‌های اتمی و طیف عناصر. (ر.ك فصلهای هفتم و هفدهم)

۱۹۰۳

آنتوان هانری بکرل[4] (۱۹۰۸ـ۱۸۵۲) از فرانسه به خاطر کشف رادیو اکتیویتهٔ خود به خودی.

پیر کوری[5] (۱۹۰۶ـ ۱۸۵۹) از فرانسه و ماری اسکلودوفسکا کوری[6] (مادام کوری) (۱۹۳۴ ـ ۱۸۶۷) فرانسوی لهستانی الاصل به خاطر انجام پژوهش هایشان روی پدیده‌های تشعشعی کشف شده توسط بکرل. (ر.ك فصل هفتم)

---

1. Wilhelm Conrad Rontgen
2. Hendrik Antoon Lorentz
3. Pieter Zeeman
4. Antoine Henri Becquerel
5. Pierre Curie
6. Mari Sklodowska Curie

۱۹۰۴

جان ویلیام استروت[7] (رایلی، راله، ریلی) (۱۹۱۹ -۱۸۴۲) از انگلستان به خاطر پژوهش بر روی چگالی گازهای مهم و کشف گاز آرگون و تعیین محل آن در جدول تناوبی عناصر. (ر.ك فصل هشتم)

۱۹۰۵

فیلیپ ادوارد آنتون فون‌لنارد[8] (۱۹۴۷- ۱۸۶۲) آلمانی چکسلواکی الاصل به خاطر تحقیق روی اشعه کاتدیك. (ر.ك فصل هفتم)

۱۹۰۶

جوزف جان‌تامسون[9] (۱۹۴۰-۱۸۵۶) از انگلستان به خاطر پژوهش‌های علمی و نظری دربارهٔ عبور الکتریسیته از میان گازها. (ر.ك فصل هفتم)

۱۹۰۷

آلبرت ابراهام مایکلسون[10] (۱۹۳۱- ۱۸۵۲) آمریکایی آلمانی الاصل به خاطر ساختن وسایل نوری بسیار دقیق و انجام پژوهش‌هایی در طیف سنجی و طول سنجی با آنها. (ر.ك فصل هفدهم)

۱۹۰۸

گابریل لیپمان[11] (۱۹۲۱-۱۸۴۵) از فرانسه به خاطر کشف روش عکاسی رنگی مبتنی بر تداخل امواج نوری. (لیپمان با کمك روش قرار دادن ورقهٔ شیشه‌ای پوشیده از لایه‌ای از مادهٔ حساس به نور عکاسی، در ظرف حاوی جیوه، عکس رنگی تهیه کرد. زیرا در طول عکسبرداری، جیوه نقش یك آینه را بازی می کند، و تداخل نوری بین اشعهٔ تابیده از سوژه و اشعه بازتابیده از آینه (جیوه) صورت می گیرد. در نتیجه، نقوش یا نوارهای تداخلی نیز در ضخامتی معادل با نصف طول موج نور از لایه تشکیل و ثبت می شوند.)

۱۹۰۹

گوگلیلمو مارکنی[12] (۱۹۳۷-۱۸۷۴) از ایتالیا، به همراه کارل فردیناند براون[13] (۱۹۱۸-۱۸۵۰) از آلمان به خاطر کشف تلگراف، بی‌سیم و مطالعاتشان بر امواج هرتز.

۱۹۱۰

یوهانس دیدریك وان دروالس[14] (۱۹۲۳- ۱۸۳۷) از هلند به خاطر کشف معادلهٔ حالت گازها و

---

7. John William Strutt (Lord Rayleigh)
8. Philip Lenard
9. Joseph John Thomson
10. Albert Abraham Michelson
11. Gabriel Lippmann
12. Guglielmo Marconi
13. Karl Ferdinand Braun
14. Johannes Diderik Van der Waals

مایعات. (وان دروالس نظریهٔ جنبشی گازها مربوط به ماکسول و بولتزمان را تکمیل کرد. او پی برد که در محاسبهٔ فشار گازها علاوه بر عامل حرکت ملکول‌ها، بایستی به نیروی جاذبه بین مولکولی و حجم خاص مولکول گازها نیز توجه کرد.)

۱۹۱۱

ویلهلم وین[15] (۱۹۲۸-۱۸۶۴) از آلمان به خاطر کشف قانون اثر دما در طیف اجسام. (ر. ك فصل هشتم)

۱۹۱۲

نیلز گوستاو دالن[16] (۱۹۳۷-۱۸۶۹) از سوئد به خاطر اختراع تنظیم کنندهٔ خودکار روشنایی فانوس دریایی و علایم شناور دریایی. (از جمله کارهای دالن این بود که استیلن را در استون حل نموده و محلول را با فشار، وارد مادهٔ متخلخل آگای درون یك بشکهٔ فولادی کرد. با اتخاذ این روش خطر وقوع انفجار در اثر ضربه از میان می‌رفت، و سوختی مناسب برای روشن ساختن فانوس‌های دریایی و مشعلهای شناور راهنما بدست می‌آمد. دالن برای صرفه‌جویی در مصرف گاز، شیر خودکاری اختراع نمود که روزها جریان گاز را قطع و شبها آن را وصل می‌کرد.)

۱۹۱۳

هایك کامرلینگ اونس[17] (۱۹۲۶-۱۸۵۳) از هلند به خاطر پژوهش در خواص ماده در دماهای پایین و طریقهٔ مایع کردن گاز هلیوم. (اونس لفافی از هیدروژن مایع را در اطراف ظرف حاوی گاز هلیوم قرار داد، و ترتیبی داد که هیدروژن تبخیر شود و گرمای تبخیر خود را از هلیوم درون ظرف بگیرد. وی در مرحلهٔ بعد به این هلیوم سرد شده، انبساط ناگهانی داد تا درجه حرارت آن یکبار دیگر پایین آورده شود. از این راه اونس موفق گردید که مقداری از گاز هلیوم را به مایع تبدیل کند.)

۱۹۱۴

ماکس فون لائو[18] (لائوئه) (۱۹۶۰-۱۸۷۹) از آلمان به خاطر کشف پدیدهٔ پراش و تفرق اشعه ایکس در بلورها. (ر. ك فصل هفتم)

۱۹۱۵

ویلیام هنری براگ[19] (۱۹۴۲- ۱۸۶۲) از انگلستان، به همراه پسرش ویلیام لارنس براگ[20] (۱۹۷۱-۱۸۹۰) از انگلستان به خاطر تجزیه و تحلیل‌هایشان از ساختمان بلورها به کمك پرتوهای

15. Wilhelm Carl Werner Otto Fritz Franz Wien
16. Nils Gustav Dalen
17. Heike Kamerlingh Onnes
18. Max Theodor Felix Von Laue
19. William Henry Bragg
20. William Lawrence Bragg

ایکس و طیف‌نگاری.

۱۹۱۶

به کسی جایزه داده نشد.

۱۹۱۷

چارلز گلاور بارکلا[21] (۱۹۴۴_۱۸۷۷) از انگلستان به خاطر کشف پرتوهای ایکس ثانویه، شاخص ساختمان درونی اتم عناصر شیمیایی. (تحقیقات بارکلا باعث شد که هنری موزلی مفهوم عدد اتمی را ابداع نماید.)

۱۹۱۸

ماکس پلانك[22] (۱۹۴۷_۱۸۵۸) از آلمان به خاطر کشف کوانتومی بودن انرژی و بسط نظریه کوانتومی. (ر.ك فصل هشتم)

۱۹۱۹

یوهانس اشتارك[23] (۱۹۵۷_۱۸۷۴) از آلمان به خاطر کشف اثر دوپلر در پرتوهای کانالی و تجزیه خطوط طیفی در میدان الکتریکی. (ر.ك فصل هفتم)

۱۹۲۰

چارلز ادوارد گیوم[24] (۱۹۳۸_۱۸۶۱) از سوئیس به خاطر کشف خواص غیرعادی آلیاژ فولاد ـ نیکل، که در ساختن ابزارهای دقیق مفید واقع می‌شود.

۱۹۲۱

آلبرت آینشتاین[25] (۱۹۵۵_۱۸۷۹) از آلمان به خاطر خدماتش به فیزیك نظری و بویژه به خاطر کشف قانون اثر فوتوالکتریك. (ر.ك فصلهای نهم و هفدهم)

۱۹۲۲

نیلزبور[26] (۱۹۶۲_۱۸۸۵) از دانمارك به خاطر تحقیقاتش در ساختمان اتم و تابشهای اتمی. (ر.ك فصلهای دهم و یازدهم و بیست و یکم)

۱۹۲۳

رابرت میلیکان[27] (۱۹۵۳_۱۸۶۸) از آمریکا به خاطر اندازه‌گیری بار الکترون و پژوهش بر روی اثر فوتوالکتریك. (ر.ك فصل هفتم)

21. Charles Glover Barkla
22. Max Karl Ernest Ludwig Planck
23. Johannes Stark
24. Charles Edouard Guillaume
25. Albert Einstein
26. Niels Hendrik David Bohr
27. Robert Andrews Millikan

۱۹۲۴

کارل مان جورج زیگبان[28] (۱۹۷۸ـ۱۸۸۶) از سوئد به خاطر کشف طول موج اشعه ایکس با کمك طیف اشعهٔ مزبور، و همچنین کشفیات و پژوهشهای او در زمینهٔ طیف‌سنجی اشعه ایکس.

۱۹۲۵

جیمز فرانك[29] (۱۹۶۴ـ۱۸۸۲) از آلمان، به همراه گوستاو لودویگ هرتس[30] (۱۹۷۵ـ۱۸۸۷) از آلمان به خاطر کشف آنها در مورد قوانین حاکم در برخورد الکترون با اتم. (آنان در سال ۱۹۱۴ طی آزمایشی ثابت کردند که اتم را در صورتی می‌توان با تابش نور تحریك کرد که انرژی تحریك برابر با یك مقدار حداقل خاص اتم مورد آزمایش، یا برابر با مضارب صحیحی از آن کوانتوم انرژی باشد.)
هرتز (برادرزادهٔ هانریش هرتز) روشی برای جداسازی ایزوتوپهای نئون نیز ارائه کرده بود.

۱۹۲۶

ژان باپتیست پرن[31] (۱۹۴۲ـ۱۸۷۰) از فرانسه به خاطر تحقیقاتش بر حرکت براونی و مطالعه رسوبها. (او در سال ۱۸۹۵ نشان داد که اشعه کاتدیك از ذره‌هایی با بار منفی تشکیل شده است.) (ر. ك فصل هفتم)

۱۹۲۷

آرتور هالی کمپتون[32] (۱۹۶۲ـ۱۸۹۲) از آمریکا به خاطر کشف پدیدهٔ کمپتون. (او در سال ۱۹۲۳ مشاهده کرد که طول موج اشعه ایکس و اشعه گاما هنگامی که با الکترونهای عناصری که وزن اتمی آنها کم است، برخورد کنند و پراکنده شوند، افزایش می‌یابد.)
چارلز ویلسون[33] (۱۹۵۹ـ۱۸۶۹) از انگلستان به خاطر کشف روش آشکارسازی مسیر ذرات باردار از راه عبور دادن آنها از یك بخار متراکم (اطاقك ابرویلسون) و عکسبرداری از قطرات مایع به وجود آمده در مسیر. (ر. ك فصلهای یازدهم و سیزدهم)

۱۹۲۸

اوون ویلانز ریچاردسون[34] (۱۹۵۹ـ۱۸۷۹) از انگلستان به خاطر کشف پدیدهٔ ترمویونیك. (او کشف کرد که صدور الکترونها و یونها در لامپهای الکتریکی از فلز داغ موجود در این لامپهاست.)

۱۹۲۹

لویی دوبروی[35] (۱۹۶۰ـ۱۸۹۲) از فرانسه به خاطر کشف طبیعت موجی الکترون‌ها. (ر. ك فصل سیزدهم)

---

28. Karl Manne George Siegbahn 29. James Franck 30. Gustav Ludwig Hertz
31. Jean Baptiste Perrin 32. Arthur Holly Compton 33. Charles Thomson Rees Wilson
34. Owen Willans Richardson 35. Louis Victor Pierre Raymond, Prince de Broglie

۱۹۳۰
چاندرا سخارا ونکاتا رامان[۳۶] (۱۹۷۰-۱۸۸۸) از هند به خاطر کشف اثر رامان. (این اثر عبارت است از ظاهر شدن خطوط طیفی اضافی در مجاورت هر یك از خطوط برجستهٔ طیف نور تابنده. در طیف رامان هر خط مشخص طیف، معرف مادهٔ متفرق کننده‌ای است که سبب تفرق می‌شود. اساس کارهای رامان بررسی در مسأله پراکنده شدن نور مرئی توسط مواد مختلف بود.)
۱۹۳۱
به کسی جایزه داده نشد.
۱۹۳۲
ورنر کارل هایزنبرگ[۳۷] (۱۹۷۶-۱۹۰۱) از آلمان به خاطر ابداع تئوری مکانیك کوانتومی، کشف فرمهای آلوتروپیك (چندشکلی) هیدروژن، و ارائه اصل عدم قطعیت. (ر.ك فصل چهاردهم)
۱۹۳۳
پل آدرین موریس دیراك[۳۸] (۱۹۸۴-۱۹۰۲) از انگلستان، به همراه اروین شرودینگر[۳۹] (۱۹۶۱-۱۸۸۷) از اتریش به خاطر کشف مدلهای جدید در تئوری اتمی. (مکانیك ماتریسی بورن - هایزنبرگ - جردن از نظر فرمول‌بندی ریاضی با مکانیك موجی شرودینگر متفاوت بود. اما دیراك نشان داد که آن دو سیستم قابل ادغام و ریختن در یك قالب به صورت یك تئوری واحد هستند.) (ر.ك فصلهای پانزدهم و هجدهم)
۱۹۳۴
به کسی جایزه داده نشد.
۱۹۳۵
جیمز چادویك[۴۰] (۱۹۷۴-۱۸۹۱) از انگلستان به خاطر کشف نوترون. (ر.ك فصل هجدهم)
۱۹۳۶
ویکتور فرانتز هس[۴۱] (۱۹۶۴-۱۸۸۳) از اتریش به خاطر کشف اشعه کیهانی. و کارل دیوید آندرسون[۴۲] (۱۹۹۱-۱۹۰۵) از آمریکا به خاطر کشف ذره پروزیترون (آندرسون در سال ۱۹۳۷ ذره مومزون را نیز کشف کرد.) (ر.ك فصلهای هجدهم و نوزدهم)

36. Chandrasekhara Venkata Raman
37. Werner Karl Heisenberg
38. Paul Adrien Maurice Dirac
39. Erwin Schrodinger
40. James Chadwick
41. Victor Franz Hess
42. Carl David Anderson

۱۹۳۷

کلینتون جوزف دیویسون[43] (۱۹۵۸ـ ۱۸۸۱) از آمریکا، به همراه جورج پاجت تامسون[44] (۱۹۷۵ـ ۱۸۹۲) از انگلستان به خاطر کشف پدیدهٔ تفرق الکترونها در مواد جامد بلوری. (پاجت فرزند جوزف تامسون بود.) (ر.ك فصل سیزدهم)

۱۹۳۸

انریکو فرمی[45] (۱۹۵۴ـ ۱۹۰۱) از ایتالیا به خاطر کشف عناصر رادیواکتیو جدید از راه بمباران نوترونی مواد، و کشف طریقه ایجاد واکنشهای هسته اتم به کمك نوترونهای کُند. (فرمی در سال ۱۹۳۳ تئوری ار تحال رادیواکتیوی نوع بتا را تدوین و در آن بیان نمود که در آن پدیده، نوترون با از دست دادن جزء کوچکی به نام نوترینو یك الکترون به یك پروتون مبدل می‌شود.) (ر.ك فصلهای هجدهم و بیست و یکم و بیست و سوم)

۱۹۳۹

ارنست اورلاندو لارنس[46] (۱۹۵۸ـ ۱۹۰۱) از آمریکا به خاطر اختراع و تکمیل دستگاه سیکلوترون و انجام کشفیاتی با آن دستگاه، بویژه در رابطه با عناصر رادیواکتیو مصنوعی.

۱۹۴۰، ۱۹۴۱ و ۱۹۴۲

به کسی جایزه داده نشد.

۱۹۴۳

اوتو اشترن[47] (۱۹۶۹ـ ۱۸۸۸) آمریکایی آلمانی الاصل به خاطر کشف گشتاور مغناطیسی پروتون و کمك در ابداع روش شعاع مولکولی. (اشترن در عمل متوجه شد که اتمها و مولکولها در ورود به یك محفظه خلأ بسیار خوب، به صورت باریکه‌هایی از ذرات، و بیش و کم شبیه پرتوهای نور به خط مستقیم سیر می کنند.)

۱۹۴۴

ایزیدور آیزاك رابی[48] (۱۹۸۸ـ ۱۸۹۸) آمریکایی اتریشی الاصل به خاطر کشف روش رزونانس مغناطیسی مخصوص ثبت خواص آهن‌ربایی هسته است. (رابی با مشخص ساختن فرکانسی که به ازای آن پرتو اتمی از تمرکز روی دستگاه آشکارساز منحرف می گردید، انرژی متناظر با یك جهش اسپینی یا ممنتوم زاویه‌ای را تعیین می‌نمود. این مقدار متناسب با مقدار کمیت مهم گشتاور مغناطیسی اتم بود.)

43. Clinton Joseph Davisson
44. George Paget Thomson
45. Enrico Fermi
46. Ernest Orlando Lawrence
47. Otto Stern
48. Isidor Isaac Rabi

۱۹۴۵

ولفگانگ پائولی[49] (۱۹۵۸-۱۹۰۰) آمریکایی اتریشی الاصل به خاطر کشف اصل طرد پائولی، که طبق آن، هیچ دو الکترونی نمی توانند دارای اعداد کوانتومی یکسان در یك اتم باشند. (ر. ك فصل یازدهم)

۱۹۴۶

پرسی ویلیامز بریجمن[50] (۱۹۶۱-۱۸۸۲) از آمریکا به خاطر اختراع دستگاه‌های تولید و تحمل کنندهٔ فشارهای فوق‌العاده زیاد و انجام تحقیقاتی به وسیلهٔ این دستگاه‌ها در حوزهٔ فیزیك فشارهای زیاد. (از نظر بریجمن دستیابی به فشارهای فوق‌العاده برای مقاصدی چون مایع کردن گازها و بررسی تأثیر عامل فشار بر روی برخی از پدیده‌های اپتیکی بود.)

۱۹۴۷

ادوارد ویکتور اپلتون[51] (۱۹۶۵-۱۸۹۲) از انگلستان به خاطر مطالعه بر طبقات بالای جو (یونیسفر) و کشف طبقه‌ای از جو به نام لایه اپلتون. (تحقیقات اپلتون منجر به تکمیل رادار شد.)

۱۹۴۸

پاتریك بلاکت[52] (۱۹۷۴-۱۸۹۷) از انگلستان به خاطر تکمیل اطاقك ابر ویلسون و انجام کشفیاتی با آن در زمینه‌های فیزیك هسته‌ای و اشعهٔ کیهانی. (بلاکت همراه با اکشیالینی در سال ۱۹۳۳ به فاصله سه، چهار ماه بعد از کشف پوزیترون توسط آندرسون، کشف او را تأیید کردند. در آزمایش آنها روی فیلم عکاسی واحدی تعداد قابل ملاحظه ۲۳ ذره به طور یك جا، و به گونه‌ای که همهٔ آنها از ناحیه واحدی از پهنه اطاقك ابر آغاز و به اطراف واگرا می‌شدند، به چشم می‌خورد. بلاکت و اکشیالینی این پدیده را ریزش رگبارهای کیهانی الکترونهای مثبت و منفی نام داده و آن را به تئوری دیراك مربوط ساختند.)

۱۹۴۹

هیدکی یوکاوا[53] (۱۹۸۱-۱۹۰۷) از ژاپن به خاطر پیشگویی در مورد وجود ذره مزون در هسته اتم بر پایه کار محاسباتی اش درباره نیروهای هسته‌ای. (ر. ك فصل نوزدهم)

۱۹۵۰

سیسیل فرانك پاول[54] (۱۹۶۹-۱۹۰۳) از انگلستان به خاطر کشف روشهای مبتنی بر عکاسی در

49. Wolfgang Pauli 50. Percy Williams Bridgman 51. Edward Victor Appleton
52. Patrick Maynard Stuart Blackett 53. Hideki Yukawa
54. Cecil Frank Powell

مطالعهٔ فرایندهای هسته‌ای و نیز کشفیاتی در مورد مزون (ر.ك فصل بیستم)

۱۹۵۱

جان داگلاس کاکرافت[55] (۱۹۶۷ـ ۱۸۸۷) از انگلستان، همراه با ارنست والتون[56] (۱۹۹۵ـ ۱۹۰۳) از ایرلند به خاطر تغییر ماهیت و شکستن (استحاله) هستهٔ اتمها به کمك ذره‌های بنیادی شتاب داده شده. (کاکرافت در سالهای ۱۹۲۰ با کمك راترفورد طرح یك شتاب‌دهندهٔ ذرات پروتون را آماده نمود و آن دستگاه را ساخت. سپس او با کمك این دستگاه توانست از برخورد دادن پروتون با لیتیوم ذره آلفا را بوجود آورد. این کشف توانست تکمیل دستگاه سیکلوترون را تسریع نماید. کرافت و والتون به دنبال ایجاد استحاله اتمی از راه بمباران با پروتون، به استفاده از پرتابه‌های دوترونی پرداختند و در سال ۱۹۳۴ با بمباران کردن عناصر لیتیوم، بورون و کربن توسط دوترون، توانستند ایزوتوپهای رادیواکتیو این عناصر را بدست بیاورند.)

۱۹۵۲

فلیکس بلوك[57] (۱۹۸۳ ـ ۱۹۰۵) آمریکایی سوئیسی الاصل، به همراه ادوارد میلز پرسل[58] (۱۹۹۷ـ۱۹۱۲) از آمریکا به خاطر کشف روشهای دقیق در اندازه گیری خواص مغناطیسی هستهٔ اتم.

۱۹۵۳

فریتز زرنیك[59] (۱۹۶۶ ـ ۱۸۸۸) از هلند به خاطر نمایش عملی روش تباین فاز و اختراع میکروسکوپی مبتنی بر این خاصیت. (اشیاء زیادی بخصوص در میان مواد بیولوژیکی وجود دارند، که به علت شفافیت زیادشان، در میکروسکوپهای معمولی فاقد جزئیات ساختمانی بنظر می‌آیند. روش زرنیك آن دسته از جزئیات اجسام شفاف و نیز جزئیات سطوح فلزات را که تا آن زمان قابل رؤیت نبودند، با تمایز واضحی در معرض دید قرار می‌داد.)

۱۹۵۴

ماکس بورن[60] (۱۹۷۰ـ ۱۸۸۲) انگلیسی آلمانی الاصل به خاطر پژوهش در تفسیر آماری معادلات موج در مکانیك کوانتومی. (ر.ك فصلهای چهاردهم و شانزدهم)

والتر بوت[61] (بته) (۱۹۵۷ ـ ۱۸۹۱) از آلمان به خاطر کشف روش انطباقی شمارش که در پژوهش‌های هسته‌ای و پرتوهای کیهانی کاربرد دارد. (بوت با استفاده از یك زوج دستگاه شمارنده گایگر شمارنده‌ای اختراع کرد که تنها در صورت وقوع دو حادثه یونیزاسیون همزمان در داخلشان، بکار می‌افتاد. او

55. John Douglas Cockcroft
56. Ernest Thomas Sinton Walton
57. Felix Bloch
58. Edward Mills Purcell
59. Fritz Zernike
60. Max Born
61. Walther Wilhelm George Bothe

بدین‌وسیله توانست درستی نظر گروه آینشتاین کمپتون را در مورد برخورد فوتونها با الکترونها اثبات کند. به این معنی که اصل بقای ممنتوم و انرژی برخلاف نظر بور و همکارانش در تك‌تك برخوردها برقرار و صادق است.) (ر.ك فصل هجدهم)

۱۹۵۵

ویلیس یوجین لمب[۶۲] (۲۰۰۸ـ۱۹۱۳) از آمریکا به خاطر کشف ساختار فوق ظریف طیف هیدروژن. و پولیکارپ کوش[۶۳] (۱۹۹۳ـ۱۹۱۱) آمریکایی آلمانی الاصل به خاطر تعیین دقیق گشتاور مغناطیستی الکترون. (کوش در سال ۱۹۴۷ با بکار گرفتن اصول آزمایش شعاع‌های مولکولی رابی، دستگاهی ساخت، که با کمك آن تغییرات انرژی اتم‌های گالیوم و سدیم را در اثر تابش امواج رادیو پرفرکانس اندازه گیری کرد. سپس او با کمك این سنجش‌ها گشتاور دو قطبی مغناطیسی الکترون را بدست آورد.)

۱۹۵۶

جان باردین[۶۴] (۱۹۹۱ـ۱۹۰۸) از آمریکا، به همراه ویلیام شاکلی[۶۵] (۱۹۸۹ـ۱۹۱۰) از آمریکا و والتر هاورز براتین[۶۶] (۱۹۸۷ـ۱۹۰۲) از آمریکا به خاطر انجام پژوهش در خواص مواد نیمه رسانا و اختراع و تکمیل ترانزیستور.

۱۹۵۷

چن نینگ یانگ[۶۷] (متولد ۱۹۲۲) آمریکایی چینی‌الاصل و تسونگ دائولی[۶۸] (متولد ۱۹۲۶) آمریکایی چینی الاصل به‌خاطر اثبات نادرستی اصل بقای زوجیت یا قانون پاریته در برهم کنشهای هسته‌ای ضعیف. (آنان ابتدا با محاسبات خود نشان دادند که اصل بقای زوجیت درست نیست. سپس چند آزمایش سرنوشت‌ساز را به آزمایشگران پیشنهاد کردند. و بدین‌وسیله ثابت شد که برخلاف اقتضای قبلی اصل زوجیت، سخن گفتن از چپگرد یا راستگرد بودن ذرات بنیادی کاری بامعناست.)

۱۹۵۸

پاول آلکسیویچ چرنکوف[۶۹] (۱۹۹۰ـ۱۹۰۴) از شوروی، به همراه ایلیا میخایلوویچ فرانك[۷۰] (۱۹۹۰ـ۱۹۰۸) از شوروی، و ایگور او گنیویچ تام[۷۱] (۱۹۷۱ـ۱۸۹۵) از شوروی به خاطر کشف و

62. Willis Eugene Lamb
63. Polykarp Kusch
64. John Bardeen
65. William Shockley
66. Walter Houser Brattain
67. Chen Ning Yang
68. Tsung Dao Lee
69. Pavel Alekseivich Cherenkov
70. Ilia Mikhailovich Frank
71. Igor Evgenievich Tamm

تعیین اثر چرنکوف مبنی بر این که تابش الکترومغناطیسی حاصل از پرتاب ذرات با انرژی بالا مربوط به محیطی است که در آنجا سرعت تابش کمتر از سرعت ذره است. (برای مثال هنگامی که یك منبع رادیو اکتیو به سیاله‌ای مانند آب تابیده می‌شود در خشش ضعیف آبی رنگی مشاهده می‌شود. در این پدیده سرعت الکترونهای کنده شده از مولکول‌های مایع ـ معلول تابش مادهٔ رادیو اکتیو ـ از سرعت سیر نور تولید شده توسط آنها در مایع بیشتر است.)

۱۹۵۹

اوون چمبرلن[72] (۲۰۰۶ ـ ۱۹۲۰) از آمریکا، به همراه امیلیوسگره[73] (۱۹۸۹ ـ ۱۹۰۵) آمریکایی ایتالیایی الاصل به خاطر کشف ذره آنتی پروتون.

۱۹۶۰

دونالد آرتور گلیزر[74] (متولد ۱۹۲۶) از آمریکا به خاطر اختراع اطاقك حباب برای تحقیق در ذره‌های درون اتم. (در اطاقك ابرویلسون مسیر ذره در بخار تشکیل می‌شد، که ماده‌ای کم چگالی بود. در اینجا ماده واسطه، مایعی با چگالی بالاست. که در مسیر ذره اتمی درون مایع فوق جوش، حبابهای بخار تشکیل می‌شود.)

۱۹۶۱

رابرت هوفستاتر[75] (۱۹۹۰ ـ ۱۹۱۵) از آمریکا به خاطر پژوهش در مورد ساختمان الکترومغناطیسی هسته و نحوه توزیع بار الکتریکی در میان ذرات هسته از طریق اندازه گیری میزان تفرق الکترونهای پرانرژی در برخورد با هسته اتم. و رودولف لودویگ موسبوئر[76] (متولد ۱۹۲۹) از آلمان به خاطر طرز تولید و اندازه گیری اشعه گاما و کشف پدیده موسبوئر. (پدیده موسبوئر با درك پدیده جذب رزونانسی اشعه گاما، تولید پرتوهای گامایی ـ با تغییر ناپذیری یك در 10^9 در طول موج آنها ـ می کند که بسیاری از پیش‌بینی‌های تئوری نسبیت مانند انبساط زمان را به اثبات رسانیده است.)

۱۹۶۲

لیف داویدوویچ لاندائو[77] (لولاندو) (۱۹۶۸ ـ۱۹۰۸) از شوروی به خاطر تئوری مربوط به حالت تراکم ماده (بویژه دربارهٔ هلیوم مایع) و پدیده‌های فوق رسانایی. (از نظر تئوری لاندائو هلیوم مایع در دمایی پایین‌تر از ۲/۱۹ درجهٔ مطلق دارای هدایت گرمایی بسیار زیادی خواهد بود؛ چیزی در حدود ۸۰۰ برابر توانایی فلز مس در درجه حرارت معمولی.)

---

72. Owen Chamberlain
73. Emilio Gino Segre
74. Donald Arthur Glaser
75. Robert Hofstadter
76. Rudolf Ludwig Mossbauer
77. Lev Davidovich Landau

۱۹۶۳

یوجین پاول ویگنر[۷۸] (۱۹۹۵-۱۹۰۲) آمریکایی مجارستانی الاصل به خاطر کمک در پیشبرد تئوری ذرات بنیادی بر مبنای کشف کاربرد اصل تقارن. (ویگنر همچنین با همکاری ون نیومن نظریه ترازهای انرژی اتم را بر مبنای تئوری ریاضی گروهها ابداع نموده بود.) و ماریا گوپرت- مایر[۷۹] (۱۹۷۲-۱۹۰۶) آمریکایی آلمانی الاصل، به همراه یوهانس هانس دانیلس جنسن[۸۰] یا ژنسن، (۱۹۷۳-۱۹۰۷) از آلمان به خاطر کشف تئوری مدل لایه‌ای هسته‌ای و اعداد کوانتایی درون هسته، و همچنین توضیح حرکت هستکهای اتم با استفاده از مدل لایه‌ای هسته. (ر. ك فصل بیست و یکم)

۱۹۶۴

چارلز هارد تاونز[۸۱] (متولد ۱۹۱۵) از آمریکا، به همراه نیکولای گنادیویچ باسوف[۸۲] (۲۰۰۱ - ۱۹۲۲) از شوروی، و الکساندر میخاییلویچ پروخوروف[۸۳] (۲۰۰۲ - ۱۹۱۶) از شوروی به خاطر تحقیقاتشان در رشته رادیو فیزیك کوانتایی که منجر به اختراع تقویت کننده تشعشعات الکترومغناطیسی (یا امواج نوری) از راه برانگیختن اتمها به تشعشع، یعنی ساخت دستگاههای میزر و لیزر شد.

۱۹۶۵

ریچارد فیلیپس فینمن[۸۴] (۱۹۸۸-۱۹۱۸) از آمریکا، به همراه جولیان سیمور شوینگر[۸۵] (۱۹۹۴-۱۹۱۸) از آمریکا، و سین- ایتیرو توموناگا[۸۶] (۱۹۷۹ - ۱۹۰۶) از ژاپن به خاطر پژوهشهای مستقلشان بر روی مبحث الکترودینامیك کوانتایی و نتایج عمیقی که این تحقیقات در فیزیك ذره‌های بنیادی داشته است.

۱۹۶۶

آلفرد کاستلر[۸۷] (۱۹۸۴ - ۱۹۰۲) از فرانسه به خاطر کشف و تکمیل روشهای نوری در مطالعه رزونانسهای هرتسی اتمها. (او با کمك روش تحریك اتمها به وسیلهٔ امواج رادیویی و نوری توانست در زمینهٔ ترازهای فرعی مدارات الکترونی اطلاعات زیادی بدست آورد.)

۱۹۶۷

هانس آلبرخت بیت[۸۸] (۲۰۰۵ - ۱۹۰۶) آمریکایی آلمانی الاصل به خاطر ارائه نظریه دربارهٔ

---

78. Eugene Paul Wigner
79. Maria Goeppert-Mayer
80. J. Hans D. Jensen
81. Charles Hard Townes
82. Nicolai Gennadevich Bassov
83. Alexander Mikhailovich Prokhorov
84. Richard Phillips Feynman
85. Julian Seymour Schwinger
86. Sin-Itiro Tomonaga
87. Alfred Kastler
88. Hans Albrecht Bethe

واکنشهای هسته‌ای و شیوه تولید انرژی در خورشید و ستارگان. (ر.ك فصل بیست ویکم)

۱۹۶۸

لویی والتر آلوارز[89] (۱۹۸۸ـ ۱۹۱۱) از آمریکا به خاطر کشف تعداد زیادی حالت کوانتومی برانگیخته از طریق ابداع تکنیك اطاقك حباب هیدروژن و روش کامپیوتری تجزیه و تحلیل ارقام و اطلاعات تجربی.

۱۹۶۹

موری گلمان (جلمان)[90] (متولد ۱۹۲۹) از آمریکا به خاطر رده‌بندی ذرات بنیادی و برهم کنشهای آنها. (گلمان دریافت که تقریباً کلیه ذرات بنیادی شناخته شده را می‌توان به صورت خانواده‌ها با دستجات چندتایی نمایشگر الگوهای هندسی مشابه با گروهها سوفوس لای ریاضیدان نروژی، طبقه‌بندی نمود. وی با اعمال قواعد هندسی لای، تئوری فیزیکی جدیدی بدست آورد. که ضمن تشریح خواص هر دسته، وجود ذرات کشف نشده‌ای را نیز پیش‌بینی می‌نمود. گلمان برای این طبقه‌بندی ذرات عدد کوانتومی جدیدی را به نام عدد کوانتومی شگفتی نیز تعریف نمود. گلمان در حوالی سال ۱۹۶۱ـ و مستقل از وی فیزیکدان اسرائیلی یووال نعمان ـ به سوی وضع نظریهٔ جدیدی هدایت شد که خود آن را روش هشتگانه نامید. ـ به‌تقلید از هشت راه صحیح زیستی که بودایی‌ها برای اجتناب از درد توصیه می‌کنند. گلمان با رد تئوری تقارن ذراتی را پیش‌بینی کرد که در سال ۱۹۹۴ به نامهای سیگماده و امگامنفی کشف شدند. گلمان اعتقاد داشت که کلیه ذرات بنیادی در اصل از کوارك بوجود آمده‌اند.) (ر.ك فصل بیست و سوم)

۱۹۷۰

هانس آلفون[91] (۱۹۹۵ـ ۱۹۰۸) از سوئد به خاطر مطالعه در مگنتوهیدرودینامیك و فیزیك پلاسما. (پژوهشهای آلفون در زمینه گازهای هادی الکتریسیته واقع در میدان مغناطیسی نشان داد که این گازها فوق‌العاده رسانا می‌باشند به نام پلاسما معروفند. حدود ۹۰ درصد از کل مادهٔ کیهان را این گازها تشکیل می‌دهند.) و لویی اوژن فلیکس نیل[92] (۲۰۰۰ـ ۱۹۰۴) از فرانسه به‌خاطر کشفیاتش در مورد خواص مغناطیسی مواد.

۱۹۷۱

دنیس گابور[93] (۱۹۷۹ـ ۱۹۰۰) انگلیسی مجارستانی‌الاصل به خاطر اختراع و تکمیل تکنیك

---

89. Luis Walter Alvarez
90. Murray Gell-Mann
91. Hannes Olof Gosta Alfven
92. Louis Eugene Felix Neel
93. Dennis Gabor

هولوگرافی. (پژوهشهای گابور در زمینه هولوگرافی اپتیکی امکان ساخت یك سیستم عکاسی سه‌بُعدی بدون عدسی را فراهم آورد.)

۱۹۷۲

جان باردین[۹۴] (۱۹۹۱ـ۱۹۰۸) از آمریکا، لئون کوپر[۹۵] (متولد ۱۹۳۰) از آمریکا و جان رابرت شریفر[۹۶] (متولد ۱۹۳۱) از آمریکا به خاطر مشارکت در ابداع و وضع تئوری خاصیت فوق رسانایی موسوم به تئوری بی-سی-اس. (آنها تشخیص داده بودند که لازمهٔ پیدایش یا بروز حالت فوق‌رسانایی در یك فلز، پیش آمدن کندانسیشن در سرعت، پیدایش یك شکاف در باند انرژی فلز، و وقوع واکنش بین الکترونها و ارتعاشات شبکه بلوری آن است.) جان باردین در سال ۱۹۵۶ نیز برنده جایزه نوبل شده بود.

۱۹۷۳

لئو اساکی[۹۷] (متولد ۱۹۲۵) از ژاپن به خاطر مطالعه بر فیزیك حالت جامد و کشف عملی پدیده حفره در زمینه رساناها یا نیمه هادیها. و ایوار گی ایور[۹۸] (متولد ۱۹۲۹) آمریکایی نروژی الاصل به خاطر کشف عملی پدیده حفره‌دار در مواد فوق رسانا.

برن دیوید جوزفسون[۹۹] (متولد ۱۹۴۰) از انگلستان به خاطر پیش‌بینی نظری خواص فوق جریان عبور کننده از لایه عایق نازك بین دو الکترود فوق‌رسانا، و کشف آثاری که به پدیده‌های جوزفسون معروف شده‌اند.

۱۹۷۴

آنتونی هیویش[۱۰۰] (متولد ۱۹۲۴) از انگلستان و مارتین رایل[۱۰۱] (۱۹۸۴ـ۱۹۱۸) از انگلستان به خاطر پژوهشهایشان در ستاره‌شناسی با امواج رادیویی. (هیویش کاشف پالسارها یا تپنده‌ها بود. تپنده‌ها ستارگانی از جنس نوترون هستند که ضمن چرخش به گرد خویش، ضربانهایی از امواج رادیویی پخش می‌کنند. رایل نیز در زمینهٔ تکمیل تلسکوپهای رادیویی از دیافراگم مرکب استفاده کرد.) (ر.ك فصل بیست و چهارم)

۱۹۷۵

آژ (اوج، اوگه) بور[۱۰۲] (متولد ۱۹۲۲) از دانمارك، بن روی موتلسون[۱۰۳] (متولد ۱۹۲۶) از دانمارك و لئو جیمز رینواتر[۱۰۴] (۱۹۸۶ـ۱۹۱۷) از آمریکا به خاطر کشف رابطهٔ بین حرکت جمعی ذرات موجود

---

94. John Bardeen
95. Leon N. Cooper
96. John Robert Schrieffer
97. Leo Esaki
98. Ivar Giaever
99. Brian David Josephson
100. Antony Hewish
101. Martin Ryle
102. Aage Niels Bohr
103. Ben Roy Mottelson
104. Leo James Rainwater

در هسته اتم، با حرکت انفرادی هر یك از آن ذرات و تدوین تئوری ساختمان هسته بر مبنای آن رابطه. (آژ فرزند نیلز بور است.) (ر. ك فصل بیست و یکم)

۱۹۷۶

برتون ریشتر[۱۰۵] (متولد ۱۹۳۱) از آمریکا و ساموئل چاوچونگ تینگ[۱۰۶] (متولد ۱۹۳۶) از آمریکا به خاطر کشف مستقل ذرهٔ بنیادی پسی یاج. (چون طول عمر این ذره نزدیك به ۵۰۰۰ برابر مقداری بود که از نظر تئوری می‌بایستی داشته باشد. فیزیکدانان در ساختمان این ذره به‌وجود نوع چهارمی از کوارك، با خاصیت ویژه‌ای به نام چارم یا دلربایی، رهنمون شدند.)

۱۹۷۷

جان هاسبروك ون ولك[۱۰۷] (۱۹۸۰ ـ ۱۸۹۹) از آمریکا، نویل فرانسیس مات[۱۰۸] (۱۹۹۶ ـ ۱۹۰۵) از انگلستان و فیلیپ وارن آندرسون[۱۰۹] (متولد ۱۹۲۳) از آمریکا به خاطر انجام پژوهشهایی دربارهٔ ساختمان الکترونیکی سیستمهای مغناطیسی نامنظم و کشف رفتار الکترون در مواد مغناطیسی. (آنان هر سه نفر از نظریه‌پردازان پیشگام فیزیك حالت جامد بودند. دستگاههای لیزر، ضبط صوتها، رادیوهای ترانزیستوری و کامپیوترها، و اکثر محصولات دیگر صنایع الکترونیك از لحاظ اصول کار خود همه مبتنی و متکی بر تئوریهای فیزیك حالت جامدند. کار آندرسون، ون ولك و مات در این حوزه، ابداع و عرضهٔ مدلهای ریاضی توضیح دهندهٔ رفتار الکترونهای درون مواد رسانای الکتریسیته بود. آنها گرچه مستقل از یکدیگر به نتایج خود رسیدند، اما به علت داشتن رابطهٔ کاری طولانی با هم، از یکدیگر تأثیر بسیاری پذیرفته بودند.)

۱۹۷۸

پیتر لئونیدوویچ کاپیتزا[۱۱۰] (۱۹۸۴ـ۱۸۹۴) از شوروی به خاطر انجام کشفیات و اختراعاتی در حوزه فیزیك در ماهای خفیف، آرنو پنزیاس[۱۱۱] (متولد ۱۹۳۳) از آمریکا و رابرت وودرو ویلسون[۱۱۲] (متولد ۱۹۳۶)، از آمریکا به خاطر کشف تابشهای امواج کوتاه کیهانی. (از نظر آنها تابش رادیویی کیهانی اکتشافی شان تأیید کنندهٔ نظریهٔ انفجار بزرگ دربارهٔ منشأ پیدایش جهان کنونی است.) (ر. ك فصل بیست و چهارم)

۱۹۷۹

محمد عبدالسلام[۱۱۳] (۱۹۹۶ ـ ۱۹۲۶) از پاکستان، استیون واینبرگ[۱۱۴] (متولد ۱۹۳۳) از آمریکا و

105. Burton Richter
106. Samuel Chao Chung Ting
107. John Hasbrouck Van Vleck
108. Nevill Francis Mott
109. Philip Warren Anderson
110. Peter Leonidovich Kapitza
111. Arno Penzias
112. Robert Woodrow Wilson
113. Abdus Salam
114. Steven Weinberg

شلدن گلاشو (گلاسو)[115] (متولد ۱۹۳۲) از آمریکا به خاطر ابداع و تکمیل تئوری متحد کننده دو نیروی الکترومغناطیسی و هسته‌ای ضعیف موجود بین ذرات بنیادی، و همچنین پیش‌بینی وجود جریانی به نام جریان خنثی در خلال انجام آن عمل. (چون در سال ۱۹۶۸ ایده‌هایی مشابه با ایده‌های واینبرگ از سوی عبدالسلام با کار مستقل و جداگانه ارائه شده بود، به تئوری حاصل در کل، تئوری واینبرگ ـ سلام نیز می گویند، این تئوری در آغاز، این محدودیت نامطلوب را داشت که تنها در مورد یك گروه از ذرات بنیادی صدق می کرد. گلاشو این تئوری را در سال ۱۹۷۰ وسعت و تعمیم بخشید. وی نشان داد که خاصیت ریاضی خاصی از ذرات بنیادی درون هسته که او آن را چارم یا دلربایی نام نهاد می تواند دامنهٔ ارتباط نیروی الکترومغناطیس و نیروی هسته‌ای ضعیف موردنظر را بسط و تئوری واینبرگ ـ سلام را تا بدان حد که تمام ذرات بنیادی را شامل شود، تعمیم دهد.

مشاهده جریان خنثی در آزمایشگاه در سال ۱۹۷۱ نظریه متحد کننده را تقویت نمود. پروسهٔ جریان خنثی به واکنش یا برخوردهایی اطلاق می‌شود که در آن بار الکتریکی ذرات وارد شده در واکنش، در دو حالت قبل و بعد از وقوع برخورد یکسان باشد. مثالی از این واکنش برخورد بین یك پروتون و یك پوزیترون است که حاصل آن نیز یك پروتون و یك پوزیترون است، درحالیکه در یك جریان بار ، بارهای الکتریکی ذرات واکنش کننده تغییر می کنند.

مثالی از این حالت، برخورد یك ذرهٔ نوترینوی سریع ـ پرانرژی ـ با نوترینوی دیگر ـ هر دو دارای بار الکتریکی صفر ـ است. که محصول آن یك ذره میون ـ دارای بار الکتریکی منفی ـ و یك پروتون ـ دارای بار الکتریکی مثبت ـ است.

در دههٔ ۱۹۷۸ در آزمایشگاههای فرمی در ایلینوی، در مرکز اروپایی پژوهشهای هسته‌ای در ژنو، و در دانشگاه استانفورد با کمك دستگاههای شتاب‌دهندهٔ ذرات طی آزمایشهایی وجود جریانهای خنثایی تحت کنترل نیروهای هسته‌ای ضعیف به اثبات رسید. جمله این بررسیهای عملی تأییدکننده صحت نظریه واینبرگ ـ سلام بودند.) (ر.ك. فصل بیست و دوم و بیست و سوم)

۱۹۸۰

جیمز کرونین[116] (متولد ۱۹۳۱) از آمریکا و وال فیتچ[117] (متولد ۱۹۲۳) از آمریکا به خاطر کشف انحراف از اصول تقارن در مورد تجزیهٔ مزون خنثای کا.

۱۹۸۱

کی زیگبان[118] (۲۰۰۷ ـ ۱۹۱۸) از سوئد، نیکلاس بلومبرگن[119] (متولد ۱۹۲۰) از آمریکا و

115. Sheldon Lec Glashow
116. James Cronin
117. Val Logsdon Fitch
118. Kai Siegbahn
119. Nicolaas Blumbergen

تر شاولو[120] (۱۹۹۹ـ۱۹۲۱) از آمریکا به خاطر تجزیه شیمیایی با روش طیف نگاری الکترونی و ـقیقاتی به وسیله لیزر در طیف نگاری. (پدر زیگبان نیز در سال ۱۹۲۴ برنده جایزه نوبل شده بود.)

۱۹۸

نت جی ویلسون[121] (متولد ۱۹۳۶) از آمریکا به خاطر تحقیق وی بر روی پدیده‌های بحرانی و رابطه ، با تغییر فاز.

۱۹۸

ـوبرامانیان چاندراساخارا (شوبراهمانیان چاندراشکر)[122] (۱۹۹۵ـ ۱۹۱۰) از هند ویلیام آلفرد اولر[123] (۱۹۹۵ـ۱۹۱۱) آمریکایی روسی الاصل، به خاطر کار مستقل در زمینه تولد و مرگ تارگان و منشأ عناصر شیمیایی.

۱۹۸

ارلو روبیا[124] (متولد ۱۹۳۴) از ایتالیا و سیمون واندرمیر[125] (متولد ۱۹۲۵) از هلند به خاطر پژوهش روی ذرات پروتون و آنتی پروتون.

۱۹۸

لاوس فون کلیتسینگ[126] (متولد ۱۹۴۳) از آلمان به خاطر کشف اثر کوانتومی هال. (از نظر فون لیتسینگ مقاومت الکتریکی مستقل از جنس و تأثیرات خارجی است. و به شکل خطی افزایش ی‌یابد، چنانکه پیش از این فرض می‌شد، بلکه با پرشهای کوانتومی افزایش می‌یابد. یعنی به همان ـکلی که تابش در گامهایی کوچك منتشر می کند.)

۱۹۸

نست روسکا[127] (۱۹۸۸ـ۱۹۰۶) از آلمان، گرد بینیگ[128] (متولد ۱۹۴۷) از آلمان و اینریش روهرر[129] (متولد ۱۹۳۳) از سوئیس به خاطر اختراع نوعی میکروسکوپ الکترونی.

۱۹۸

ارل آلکس مولر[130] (متولد ۱۹۲۷) از سوئیس و یوهانس گئورگ بدنورتس[131] (متولد ۱۹۵۰) از ـمان به خاطر کشف خاصیت فوق رسانایی در ۳۵ درجه کلوین و ساخت فوق هادیهای سرامیکی سوپرکانداکتور) از آلیاژ اکسید مس.

120. Arthur Schawlow
121. Keneth G. Wilson
122. Subrahmanyan Chandrasekha
123. William Alfred Fowler
124. Carlo Rubbia
125. Simon Van Der Meer
126. Klaus Von Klitzing
127. Ernst Ruska
128. Gerd Binnig
129. Heinrich Rohrer
130. Karl Alexander Muller
131. Johannes George Bednorz

۱۹۸۸

لئون لدرمن[132] (متولد ۱۹۲۲) از آمریکا، ملوین شوارتز[133] (۲۰۰۶-۱۹۳۲) از آمریکا و جك استینبرگر[134] (متولد ۱۹۲۱) از آمریکا به خاطر پژوهش در زمینه ساختار و دینامیك ماده. (پژوهشهای آنان در سال ۱۹۶۲ به نتیجه رسید. این پژوهشها راهگشای شناخت نوترینوها و کشف نوترینوهای موئون گردید.)

۱۹۸۹

نورمن فوستر رامزی[135] (متولد ۱۹۱۵) از آمریکا، به خاطر روش میدان‌های نوسانگر مجزا و کاربرد آن در میزر هیدروژن و سایر ساعت‌های اتمی.

هانس گئورك دهملت[136] (متولد ۱۹۲۲) از آلمان، و ولفگانگ پائول[137] (۱۹۹۳-۱۹۱۳) از آلمان، به خاطر توسعه تکنیك دام یونی.

۱۹۹۰

جروم ایساك فریدمن[138] (متولد ۱۹۳۰) از آمریکا، هنری وی کندال[139] (۱۹۹۹-۱۹۲۶) از آمریکا، ریچارد تیلور[140] (متولد ۱۹۲۹) از کانادا، به خاطر تحقیقات پیشگامانه در مورد پراکندگی ناکشسان الکترون‌ها بر روی پروتون‌ها و نوترون‌های مقید که اهمیت اساسی در مدل کوارکی فیزیك ذرات ایفا می‌کند.

۱۹۹۱

پی‌یر گیل دو ژانس[141] (۲۰۰۷-۱۹۳۲) از فرانسه، به خاطر کشف قابلیت توسعه شیوه‌های مطالعه پدیده‌های سیستم‌های ساده به سیستم‌های پیچیده ماده، به ویژه کریستال‌های مایع و پلیمر.

۱۹۹۲

ژرژس شارپاك[142] (متولد ۱۹۲۴) از فرانسه، به خاطر ابداع و توسعه آشکارسازهای ذرات، به ویژه اتاقك‌های تناسبی چند رشته‌ای.

۱۹۹۳

راسل آلن هولس[143] (متولد ۱۹۵۰) از آمریکا، و جوزف هوتون تیلور[144] (متولد ۱۹۴۱) از آمریکا،

---

132. Leon Lederman
133. Melvin Schwartz
134. Jack Steinberger
135. Norman Foster Ramsey
136. Hans Georg Dehmelt
137. Wolfgang Paul
138. Jerome Isaac Friedman
139. Henry Way Kendall
140. Richard E. Taylor
141. Pierre-Gilles de Gennes
142. Georges Charpak
143. Russell Alan Hulse
144. Joseph Hooton Taylor Jr.

ه خاطر کشف نوع جدیدی از تپ‌ستاره‌هایی که امکانات جدیدی را برای مطالعه بر روی گرانش فراهم ی‌سازد.

۱۹۹۱

رترام بروك‌هاوس[۱۴۵] (۲۰۰۳-۱۹۱۸) از کانادا، و کلیفورد گلن‌وود شول[۱۴۶] (۲۰۰۱-۱۹۱۵) از آمریکا، ه‌خاطر توسعه بیناب‌نمایی نوترونی، و توسعه تکنیك‌های پراکندگی نوترون برای مطالعه ماده چگال.

۱۹۹۵

ارتین لویس پرل[۱۴۷] (متولد ۱۹۲۷) از آمریکا، به خاطر کشف لپتون تاو، و تجارب پیشگامانه در یزیك لپتون‌ها.

ردریك رینز[۱۴۸] (۱۹۹۸-۱۹۱۸) از آمریکا، به خاطر آشکارسازی نوترینو و تجارب پیشگامانه در یزیك لپتون‌ها.

۱۹۹۶

یوید موریس لی[۱۴۹] (متولد ۱۹۳۱) از آمریکا، داگلاس دین اوشروف[۱۵۰] (متولد ۱۹۴۵) از آمریکا، و ابرت کولمن ریچاردسون[۱۵۱] (متولد ۱۹۳۷) از آمریکا، به خاطر کشف ویژگی فراسیالی در هلیوم سه.

۱۹۹۷

ستیون چو[۱۵۲] (متولد ۱۹۴۸) از آمریکا، کلود کوهن تانودجی[۱۵۳] (متولد ۱۹۳۳) از فرانسه، و ویلیام انیل فیلیپس[۱۵۴] (متولد ۱۹۴۸) از آمریکا، به خاطر توسعه شیوه‌هایی برای خنك‌سازی و دام‌اندازی تم‌ها با نور لیزر.

۱۹۹۸

ابرت بتس لافلین[۱۵۵] (متولد ۱۹۵۰) از آمریکا، هورست لودویگ اشتورمر[۱۵۶] (متولد ۱۹۴۹) از آلمان، دانیل چی سویی[۱۵۷] (متولد ۱۹۳۹) از آمریکا، به خاطر کشف صورت جدیدی از سیال کوانتومی.

۱۹۹۹

گراردوس تی هوفت[۱۵۸] (متولد ۱۹۴۶) از هلند، و مارتینوس ژوستینوس گادفریدوس ولتمن[۱۵۹]

---

145. Bertram Brockhouse
146. Clifford Glenwood Shull
147. Martin Lewis Perl
148. Frederick Reines
149. David Morris Lee
150. Douglas Dean Osheroff
151. Robert Coleman Richardson
152. Steven Chu
153. Claude Cohen Tannoudji
154. William Daniel Phillips
155. Robert Betts Laughlin
156. Horst Ludwig Stormer
157. Daniel Chee Tsui
158. Gerrardus t Hooft
159. Martinus Justinus Godefriedus Veltman

(متولد ۱۹۳۱) از هلند، به خاطر شفاف‌سازی ساختار کوانتومی برهم‌کنش الکتریکی ضعیف در فیزیك.

۲۰۰۰

ژورس ایوانوویچ آلفه‌روف[۱۶۰] (متولد ۱۹۳۰) از روسیه، و هربرت کروئه مر[۱۶۱] (متولد ۱۹۲۸) از آلمان، به خاطر توسعه ساختار ناهمگن نیمه‌هادی‌های مورد استفاده در اپتوالکترونیك.
جك کلر کیلبی[۱۶۲] (متولد ۱۹۲۳) از آمریکا، به خاطر نقش وی در اختراع مدارهای مجتمع.

۲۰۰۱

اریك آلن کورنل[۱۶۳] (متولد ۱۹۶۱) از آمریکا، ولفگانگ کت‌ترل[۱۶۴] (متولد ۱۹۵۷) از آلمان، و کارل ادوین وایمن[۱۶۵] (متولد ۱۹۵۱) از آمریکا، به خاطر برازش چگالش گازهای رقیق اتم‌های قلیایی در توزیع آماری بوز ـ آینشتاینی.

۲۰۰۲

ریموند دیویس[۱۶۶] (متولد ۱۹۱۴) از آمریکا، و ماساتوشی کوشیبا[۱۶۷] (متولد ۱۹۲۶) از ژاپن، به خاطر نقش پیشگامانه در فیزیك نجومی به ویژه آشکارسازی نوترینوهای کیهانی.
ریکاردو گیاکونی[۱۶۸] (متولد ۱۹۳۱) از آمریکا، به خاطر نقش پیشگامانه در فیزیك نجومی که به کشف منابع پرتو ایکس کیهانی منجر گردید.

۲۰۰۳

آلکسیس آلکسی یویچ آبریکوزوف[۱۶۹] (متولد ۱۹۲۸) از روسیه، ویتالی لازاریویچ گینزبورگ[۱۷۰] (متولد ۱۹۱۶) از روسیه، و آنتونی جیمز لگت[۱۷۱] (متولد ۱۹۳۸) از انگلستان، به خاطر نقش پیشگامانه در نظریه سوپرهادی‌ها و سوپرسیالات.

۲۰۰۴

دیوید جاناتان گراس[۱۷۲] (متولد ۱۹۴۱) از آمریکا، هاگ دیوید پولیتزر[۱۷۳] (متولد ۱۹۴۹) از آمریکا، و فرانك ویل چك[۱۷۴] (متولد ۱۹۵۱) از آمریکا، به خاطر کشف آزادی همگرایانه در نظریه برهمکنش قوی.

---

160. Zhores Ivanovich Alferov
161. Herbert Kroemer
162. Jack St. Clair Kilby
163. Eric Allin Cornell
164. Wolfgang Ketterle
165. Carl Edwin Wieman
166. Raymond Davis Jr.
167. Masatoshi Koshiba
168. Riccardo Giacconi
169. Alexei Alexeevich Abrikosov
170. Vitaly Lazarevich Ginzburg
171. Anthony James Leggett
172. David Jonathan Gross
173. Hugh David Politzer
174. Frank Wilczek

۲۰۰۵

روی جی گلابر[۱۷۵] (متولد۱۹۲۵) از آمریکا، به خاطر نقش وی در نظریه کوانتومی همدوسی اپتیکی.
جان لویس هال[۱۷۶] (متولد۱۹۳۴) از آمریکا، تئودور ولفگانگ هانش[۱۷۷] (متولد۱۹۴۱) از آلمان، به خاطر توسعه بیناب نمایی دقیق، شامل تکنیك فرکانس شانه‌ای لیزری.

۲۰۰۶

جان کرامول ماتر[۱۷۸] (متولد۱۹۴۶) از آمریکا، و جورج فیتزجرالد اسموت[۱۷۹] (متولد۱۹۴۵) از آمریکا، به خاطر کشف شکل جسم سیاه، و ناهمسانگردی تابش زمینه مایکروویو کیهانی.

۲۰۰۷

آلبرت فرت[۱۸۰] (متولد ۱۹۳۸) از فرانسه، و پیتر گرانبرگ[۱۸۱] (متولد۱۹۳۹) از آلمان، به خاطر کشف مگنتورزیستانس‌های غول آسا.

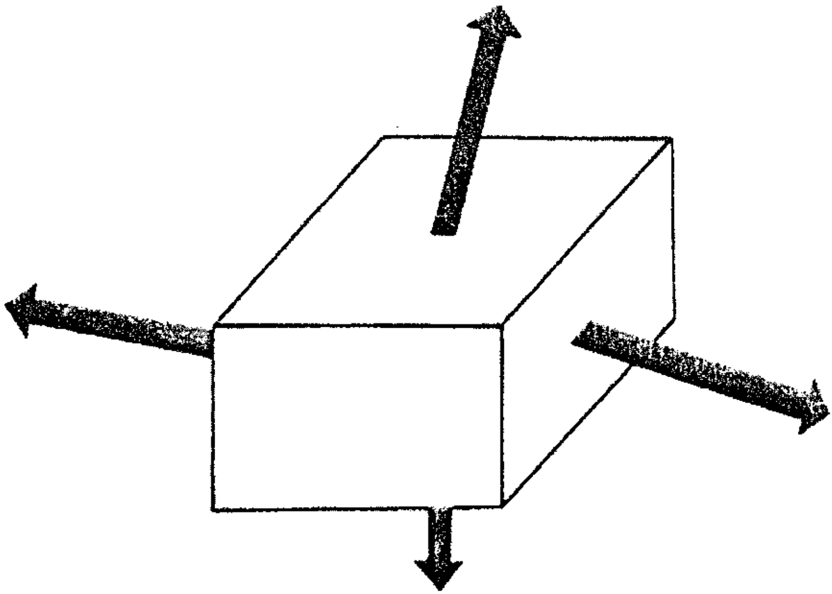
در میان برندگان جوایز نوبل در رشته شیمی نیز کسانی چون ویلیام رامزی (۱۹۰۴)، ارنست راترفورد (۱۹۰۸)، مادام کوری(۱۹۱۱)، فردریك سودی (۱۹۲۱)، فرانسیس ویلیام آستون (۱۹۲۲)، هارولد کلیتن یوری (۱۹۳۴)، ژان فردریك ژولیو و همسرش ایرن ژولیو کوری (۱۹۳۵)، ادوین ماتیسون مك میلان به همراه گلن تئودور سیبورگ(۱۹۵۱)، و لاینوس کارل پولینگ (۱۹۵۴)در پیشبرد و گسترش شناخت ما از اتمها و عناصر و کشف الفبای کتاب طبیعت گامهای مهمی برداشته‌اند.

قصد ما در این کتاب پژوهی دربارهٔ تاریخچهٔ تئوریهای اتمی از آغاز تا به امروز بوده است، گردشی علمی در یکی از خیابانهای بزرگ شهر فیزیك. ولی آنچنان که مشاهده شد خیابانها و کوچه‌های زیادی با این خیابان تقاطع داشتند، که نمی‌شد در مورد آنها توضیحات مختصری را بیان نکرد. اما در پایان پیش از آنکه یك نمای کلی از شهر فیزیك را بدست داده باشیم، به یك نمودار نه چندان کاملی از سرزمین علم توجه می کنیم:

175. Roy Jay Glauber
176. John Lewis Hall
177. Theodor Wolfgang Hansch
178. John Cromwell Mather
179. George Fitzgerald Smoot
180. Albert Fert
181. Peter Grunberg

- علوم
  - ۱ـ علوم انسانی
    - ۱ـ فلسفه
    - ۲ـ تاریخ
    - ۳ـ جامعه شناسی
    - ۴ـ حقوق سیاسی و قضایی
    - ۵ـ جغرافی
    - ۶ـ اقتصاد
    - ۷ـ ...
  - ۲ـ ریاضیات
    - ۱ـ ریاضی محض و کاربردی
    - ۲ـ کامپیوتر
    - ۳ـ سیبرنتیك
    - ۴ـ ...
  - ۳ـ علوم طبیعی
    - ۱ـ علوم فیزیکی
      - ۱ـ شیمی
      - ۲ـ فیزیك
        - ۱ـ کلاسیك
          - ۱ـ مکانیك
          - ۲ـ نور
          - ۳ـ الکتریسیته و مغناطیس
          - ۴ـ گرما
          - ۵ـ صوت
          - ۶ـ ...
        - ۲ـ مدرن
          - ۱ـ ذرات بنیادی
          - ۲ـ فیزیك هسته‌ای
          - ۳ـ فیزیك اتمی و مولکولی
          - ۴ـ فیزیك حالت جامد
          - ۵ـ پلاسما و شاره‌ها
          - ۶ـ ستاره و سیاره‌ها
          - ۷ـ نور و صوت
          - ۸ـ ...
      - ۳ـ ستاره شناسی
      - ۴ـ زمین شناسی
      - ۵ـ ...
    - ۲ـ علوم زیستی
      - ۱ـ پزشکی عمومی
      - ۲ـ جانورشناسی
      - ۳ـ گیاه شناسی
      - ۴ـ ...

در فیزیك ماقبل کلاسیك، طبق نظر ارسطو، یك جسم فقط هنگامی می‌تواند در حرکت باشد که تحت تأثیر یك نیروی خارجی قرار داشته باشد و به محض قطع تأثیر نیروی خارجی، متوقف خواهد شد. اما گالیله و نیوتن عکس این نظر را ابراز داشتند (قانون جبر یا اصل ماند). این نظریهٔ ارسطو فقط حرکت چرخ دستی را به گونه‌ای توجیه می‌کرد، ولی در توضیح حرکت تیر پرتاب شده و یا حرکت سیارات به کلی دچار لنگی می‌شد.



شکل ۲۵ـ ۱ . برخلاف نظر ارسطو، گالیله و نیوتن پی بردند که جسم می تواند ساکن بماند و درعین حال نیروهای زیادی بر آن اعمال شود. (البته برآیند نیروها می بایستی صفر باشد)

همچنین مطابق فیزیك ارسطویی، هر عنصری در میان اشیاء جهان مکان ویژه‌ای دارد. برای مثال جای خاك در مرکز جهان ماست، و در اطراف هستهٔ خاك، جای آب اقیانوسهاست. لایه‌ای از هوا اقیانوسها و زمین را در میان می گیرد و در ماورای هوا، در ارتفاعات زیاد، قلمرو آتش است، که بیشتر به‌صورت برق تجلی می کنند. هر عنصری همواره به سطح مخصوص خود روان می‌شود. برای مثال اگر سنگی در هوا باشد، به زمین، که سطح طبیعی آن است، می‌افتد. و یا آتش همواره به سوی ارتفاعات زبانه می کشد.

از نظر ارسطو چون ستارگان تغییرپذیر نیستند. از عنصر پنجمی به‌نام اثیر تشکیل شده‌اند. فیزیك نوع ارسطویی تازمان رنسانس کم‌وبیش به‌زندگی خود ادامه می‌داد. تااینکه‌فیزیك کلاسیك باهمت کسانی چون داوینچی، گالیله و پاسکال کم کم‌شکل گرفت. البته‌زادروز رسمی فیزیك کلاسیك‌در سال ۱۶۸۷ می‌باشد. در این سال نیوتن کتاب «اصول ریاضی فلسفه طبیعی» خود را منتشر ساخت. در سال ۱۸۱۵ لاگرانژ دانشمند فرانسوی به‌مکانیك کلاسیك‌چهره‌ای کاملتر داد، ولی نقشی از اتم در آن دیده نمی‌شود.

در فیزیك کلاسیك چندین اصل بسیار بدیهی بنظر می‌رسیدند. برای مثال:

الف ـ زمان، فضا و جرم از یکدیگر مستقل بودند و در ذات خود مطلق و تغییرناپذیر بحساب می‌آمدند.

ب ـ اصل ترکیب سرعتها در مورد همهٔ متحرکها بکار گرفته می‌شد.

ج ـ اصل نسبیت گالیله در همهٔ مطالعات فیزیکی رعایت می‌شد. بر طبق این اصل، اگر دو ناظر نسبت به یکدیگر حرکت یکنواخت داشته باشند، قانونهای مکانیك برای آن دو ناظر، یکسان است.

د ـ انرژی به طور کلی یکپارچه و بسیط در نظر گرفته می‌شد.

اما با پیدا شدن مواردی چند فیزیك کلاسیك نارسایی‌های خود را کم کم نشان داد. مواردی چون:

۱ـ معمای سرعت نور که از اصل ترکیب سرعتها پیروی نمی‌کرد.

۲ـ پدیده فوتوالکتریك که با تئوری موجی نور قابل توجیه نبود.

۳ـ انفصالی بودن طیف تابشی و جذبی گازها.

۴ـ نارسایی مدل اتمی راترفورد در مورد توجیه عدم سقوط الکترون به درون هسته.

۵ـ فاجعه ماوراءبنفش.

۶ـ خاصیت رادیواکتیویته و عدم توانایی فیزیك کلاسیك در مورد توجیه تشعشعات دایمی بعضی عناصر و همچنین چگونگی تبدیل عنصری به عنصر دیگر...

در پی حل این بن‌بستها بود که فیزیك مدرن بر اساس تئوری نسبیت آینشتاین، تئوری کوانتومی پلانك و تئوری اتمی بور از ابتدای قرن بیستم بوجود آمد. در حقیقت همهٔ مباحثی را که طبق نمودار علوم در قسمت فیزیك کلاسیك طبقه‌بندی شده‌اند، با تفسیری دیگر در قسمت فیزیك مدرن دوباره مطرح می‌شوند. برای روشنتر شدن مباحث و موضوعات فیزیك مدرن به اختصار می‌توان گفت که:

۱ـ در مبحث فیزیك ذرات بنیادی، مقوله‌هایی چون فوتون‌ها، لپتون‌ها، مزون‌ها، باریون‌ها و ضدذرات مورد بحث و تحقیق قرار می‌گیرند.

۲ـ در مبحث فیزیك هسته‌ای، ساختمان هستهٔ اتم، چگونگی آرایش ذرات درون هسته، نیروهای هسته‌ای، راکتورهای اتمی، بمبهای اتمی، رادیواکتیویته طبیعی و مصنوعی مورد بحث قرار می‌گیرند.

۳ـ در مبحث فیزیك اتمی و مولکولی مواردی مثل نیروی جاذبه بین اتمها و بین مولکولها، مدارهای الکترونی، تابش و جذب نور، قوانین ترمودینامیك و تئوری جنبشی گاز مطرح می‌شود.

۴ـ در قسمت فیزیك حالت جامد خواص و رفتار و ساختمان داخلی مواد جامد موضوعات مورد بررسی بشمار می‌روند. در این بخش مباحثی چون ساختمان بلورها، هدایت الکتریکی، قابلیت تراکم، ضرایب دی الکتریك و کشسانی و شکست، پدیده‌های فوتوالکتریك و ترمویونیك و ترموالکتریك، و

خصایص الکتریکی و مغناطیسی و گرمایی و نوری مواد جامد مورد تحقیق و بررسی قرار می گیرند. از مهمترین پیشرفتهای این شاخه مبحث نیمه‌هادیها و ساخت ترانزیستورهاست.

۵ـ فیزیك پلاسما و شاره‌ها دارای دو مبحث کلی است. یکی مبحث شاره‌ها یا سیالها که در آن مایعات و گازها مورد بررسی قرار می گیرند. و دیگری مبحث پلاسماست.

در حال حاضر برای ماده، پنج حالت در نظر گرفته می‌شود. که عبارتند از جامد، مایع، گاز، پلاسما یا گاز یونیزه و حالت نوترونی. گازها از دمای سه هزار درجه سانتی گراد به بالا به حالت پلاسما درمی آیند. در این دما برخورد ذرات با یکدیگر به صورتی است که الکترونها از اتمهای خود جدا می‌شوند. و گاز، مجموعه‌ای از الکترونهای آزاد و هسته‌های مثبت می‌شود. برای مثال شعله، اتمسفر خورشید و ستاره‌ها، و جو یونیزه زمین نمونه‌هایی از مادهٔ در حالت پلاسمایند.

فیزیك پلاسما قوانینی بدست می‌دهد که شامل قوانین الکترومانیتیك و هیدرودینامیك مربوط به پلاسماست. به همین دلیل فیزیك پلاسما را مگنتوهیدرودینامیك و یا هیدرومگنیتیك نیز می نامند.

۶ در شاخه فیزیك ستاره‌ها و سیاره‌ها، تئوری‌هایی چون تئوری نسبیت آینشتاین و ابزارهایی چون رادیو تلسکوپ و اسپکتروسکوپها به بسیاری از پرسش‌های فضایی انسان پاسخ داده‌اند، و عواملی چون دما، چگالی، سرعت و عناصر سازنده اجرام فضایی مورد بررسی قرار گرفته و می گیرد.

هنگامی که به تاریخ تکامل بشر در زمینهٔ علوم، نگاه کلی می‌اندازیم، می توانیم با برتراند راسل (۱۹۷۰ ـ ۱۸۷۲) فیلسوف و ریاضیدان انگلیسی هم عقیده شویم که: «هدف علم هرگز اثبات حقایق تغییرناپذیر و ثبت عقاید قطعی و ابدی نیست. علم می کوشد گام بگام به واقعیت نزدیکتر شود و به‌تدریج درهای بستهٔ گنجینه اسرار طبیعت را به‌روی آدمی بگشاید، و پرده‌های ابهام را یکی پس از دیگری پاره کند، تا بلکه به قلهٔ معرفت ممکن، نزدیکی بیشتری حاصل کند، بدون اینکه در هیچیك از مراحل تکامل خود، مدعی بر صحت کامل و نهایی باشد.»

چکیدهٔ مباحث کتاب

از کهکشان‌ها تا کوارك‌ها

ستاره‌شناسان، به کمك وسایل نجومی، در هر گوشه از فضا[1] میلیونها کهکشان[2]، در هر کهکشان هزاران هزار ستاره[3] کشف کرده‌اند. ستارگان اغلب فروزانند، و فروزندگی آنها ناشی از واکنش‌های هسته‌ای است که در آنها رخ می‌دهد. علت گردش سیارات[4] به دور ستاره‌هایشان، جرم بسیار زیاد ستاره نسبت به جرم همگی آنهاست. به همین دلیل برخی از سیارات نیز دارای چندین قمر[5] گردشگر به دور خود می‌باشند. ستاره‌ها و سیاره‌های بزرگ از تراکم گازها و غبارهای میان ستاره‌ای ایجاد گردیده‌اند. یك مجموعه از اجرام آسمانی، اگر دارای کمتر از یك میلیون ستاره باشد؛ خوشهٔ ستاره‌ای[6] و اگر تعداد ستارگانش بیش از یك میلیون ستاره باشد؛ کهکشان نامیده می‌شود.

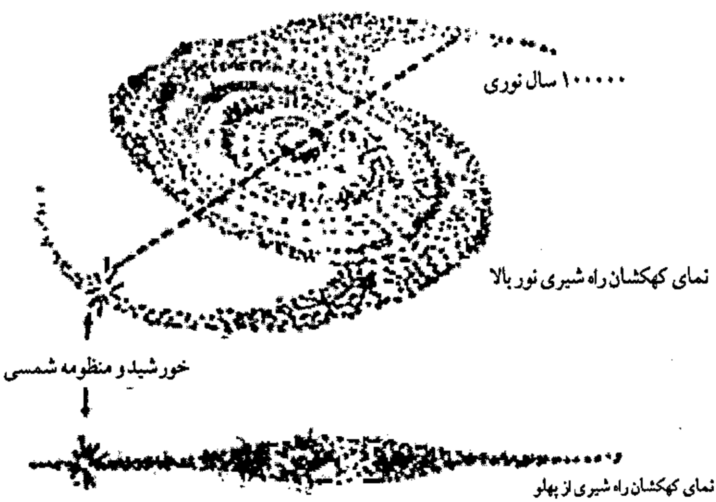
ستارگانی در جهان وجود دارند که فاصلهٔ آنها تا زمین، میلیاردها سال نوری است. گاهی ستارگان، با داشتن فاصله‌های بسیار زیاد، به حدی نزدیك به هم به نظر می‌رسند، که گروهی از آنها در آسمان به شکل ابر نازکی دیده می‌شوند. چنین گروه‌هایی از ستارگان، کهکشان نام دارند. در افسانه‌های کهن شرق، چنین آمده است که بار کاهی در آسمان عبور کرده و خرده‌های کاه که از آن پخش شده، بدینسان بر جای مانده است. به همین سبب به این منظرهٔ آسمانی نام کاهکشان یا کهکشان داده بودند.

---

1. Space
2. Galaxy
3. Star
4. Planet
5. Satellite
6. Star Cluster

در بخش فضای قابل رویت فضا، هزاران میلیون کهکشان وجود دارد. هر کهکشان مجموعه‌ای از میلیون‌ها ستاره است. برای مثال کهکشان بزرگ آندرومدا[7] با فاصلهٔ یك و نیم میلیون سال نوری، در حدود یك صد میلیارد ستاره دارد. تعداد ستاره‌های موجود در بخش قابل رویت جهان در حدود ده به توان بیست و دو، و مجموعهٔ مواد موجود در آنها از حاصلضرب این عدد در جرم خورشید تجاوز می نماید. با وجود این مقدار زیاد ماده به شکل ستاره، یکی از خواص اساسی جهان تهی بودن آنست. در ازای هر پانزده و نیم سانتی متر مکعب مادهٔ ستاره‌ای، در حدود ده به توان بیست و دو سانتی‌متر مکعب فضای خالی موجود است.

کهکشانی که خورشید ما در آن قرار گرفته است، از پهلو به شکل عدسی بزرگی به نظر می رسد (با ضخامت ده هزار سال نوری)، ولی هر گاه از بالا به آن نگاه کنیم، چون ابری مارپیچی شکل دیده می‌شود که دو شاخهٔ بازو مانندی در طرفین خود دارد. فاصلهٔ این دو بازو از یکدیگر، در حدود صد هزار سال نوری است. نوری که در یك ثانیه، سیصد هزار کیلومتر را در فضای خالی طی می کند. منظومهٔ شمسی[8] در یکی از بازوهای این کهکشان جای دارد. کهکشانها از نظر شکلی به سه مدل مارپیچی، بیضوی، و نامنظم تقسیم می‌شوند. کهکشان راه شیری شامل چیزی در حدود سه و نیم ضربدر ده به توان یازده ستاره می‌باشد (در حدود صد میلیارد ستاره). فاصلهٔ خورشید تا نزدیکترین



7. Andromeda
8. Solar System

ستارهٔ مجاور (ستارهٔ آلفا ـ قنطورس) نیز، در حدود چهار سال نوری می‌باشد.

اگر از زمین به خارج از کهکشان راه شیری بنگریم، شاخه‌ای از کهکشان را که زمین در آن واقع است، همچون نوار پهن و ابر مانندی می‌بینیم که از یک سمت آسمان به سمت دیگر آن کشیده شده است. این نوار روشن، که به نام راه شیری[9] موسوم است؛ نور میلیون‌ها ستاره‌ای است که شاخهٔ کهکشان را تشکیل می‌دهند ولی خود به سبب فاصلهٔ زیادی که از ما دارند، دیده نمی‌شوند. در اساطیر یونان قدیم این نوار، شیری است که از پستان هرا[10]؛ الهه و رب‌النوع خوشبختی، هنگام شیر دادن به کودکی گرسنه و نیرومند به نام هرکول[11]، بر آسمان پاشیده شده است.

خورشید؛ دارای خانواده‌ای متشکل از ۹ سیارهٔ بزرگ، صدها هزار سیارهٔ کوچک، تعداد بیشماری از قطعات جامد، و مقادیر بسیار زیادی گرد و غبار است. زمین؛ با سرعت ۱/۵ کیلومتر در ساعت؛ روزی یک بار به دور محور خود، و با سرعت ۳۰ کیلومتر در ثانیه؛ سالی یک بار به دور خورشید می‌گردد. محور زمین دارای یک حرکت مخروطی با پریود ۲۶۰۰۰ ساله است (رقص محوری)[12]. این در حالی است که کهکشان ما در حدود هر دویست میلیون سال یک بار به دور خود می‌چرخد. منظومهٔ شمسی نیز با سرعتی نزدیک به دویست و پنجاه کیلومتر در ثانیه به دور مرکز کهکشان می‌چرخد.

دمای نقاط مختلف خورشید بین ۶۰۰۰ تا ۱۴۰۰۰۰۰۰ درجهٔ سانتیگراد می‌باشد. قطر آن ۱۰۹ برابر قطر زمین، جرم آن ۳۳۳۴۰۰ برابر جرم زمین محاسبه شده است. جرم خورشید به تنهایی ۷۰۰ برابر جرم مجموع سیاره‌های منظومهٔ شمسی است. دمای نقاط مختلف زمین بین منهای ۵۰ تا ۵۰۰۰ درجهٔ سانتیگراد می‌باشد. قطر آن ۱۲۷۴۰ کیلومتر، و جرم آن ۶/۶ ضربدر ده به توان ۲۷ گرم محاسبه شده است.

خورشید بطور عمده از گازهای هیدروژن و هلیوم تشکیل شده است. نیروی جاذبه باعث شده است که اتم‌های هیدروژن و هلیوم چنان داغ شوند که دو اتم هیدروژن به هم بپیوندند و یک اتم هلیوم درست کنند (گداخت هسته‌ای/ فیوژن[13]). این واکنش هسته‌ای انرژی زیادی آزاد می‌کند. تمام نور و گرمایی که از خورشید می‌گیریم محصول همین واکنش هسته‌ای است.

بسیاری از افسانه‌های قدیم، دلالت دارند بر ترس انسان‌های نخستین از این که مبادا فردا خورشید طلوع نکند، و یا این که پس از زمستان بهاری دیگر نیاید. در اساطیر یونان باستان دمتر[14]؛ الههٔ حامی کشتزارها و محصولات کشاورزی، دختر بسیار زیبایی به نام پرسه‌فونه[15] از زئوس[16]؛ خدای

---

9. Milky Way
10. Hera
11. Hercules
12. Precession of Equinnox
13. Fusion
14. Demeter
15. Persephone
16. Zeus

جدول شمارهٔ یك : مشخصات کلی سیارات منظومهٔ شمسی

نام سیاره	فاصله از خورشید به میلیون کیلومتر	مدت گردش به دور خورشید	جرم نسبت به جرم زمین	مدت چرخش به دور خود	تعداد قمرهای شناخته شده
تیر/عطارد/ Mercury	۵۷/۹	۸۸ روز	۰/۰۵۵	۵۸/۶ روز	–
ناهید/ زهره/ Venus	۱۰۸/۲	۲۲۵ روز	۰/۸۲	۲۴۳/۱ روز	–
زمین/ ارض/Earth	۱۴۹/۶	۳۶۵/۲۵ روز	۱	۲۳ساعت و۵۶ دقیقه	۱
بهرام / مریخ / Mars	۲۲۷/۹	۶۸۷ روز	۰/۱۰۷	۲۴ساعت و ۳۷ دقیقه	۲
مشتری/برجیس/Jupiter	۷۷۸	۱۱/۸۶ سال	۳۱۷/۹	۹ ساعت و ۵۳ دقیقه	۱۶
کیوان / زحل / Saturn	۱ ۴۲۷	۲۹/۴۶ سال	۹۵/۲	۹ ساعت و ۲۵ دقیقه	۲۲
اورانوس / Uranus	۲ ۸۷۰	۸۴/۰۱ سال	۱۴/۶	۱۷ ساعت و۱۴ دقیقه	۱۵
نپتون / Neptune	۴ ۴۹۷	۱۶۴/۷۹سال	۱۷/۲	۱۶ ساعت و ۵ دقیقه	۸
پلوتون / Pluto	۵ ۹۱۲	۲۴۸/۴سال	۰/۱۱	۶/۳۹ روز	۱

خدایان و خدای آسمان‌ها به دنیا می آورد. بعدها هایدس[17]؛ برادر زئوس و خدای دنیای زیر زمینی مردگان عاشق زیبایی این دختر می‌شود. بنابراین روزی که پرسه‌فونه در چمنزاری در سیسیل، گل‌های نرگس می‌چید، زمین در کنارش باز شد، و هایدس او را به سراپردهٔ خود در اقلیم دوزخ‌ها برد. پرسه‌فونه از خدایان کمك طلبید و به درگاهشان استغاثه کرد، اما زئوس به این ربایش رضایت داد. دمتر که از فریادهای دخترش هراسان شده بود سراسیمه مدت نه شبانه‌روز دنیا را برای پیدا کردن او زیر پا گذاشت، تا این که هلیوس[18]؛ خدای خورشید و آفتاب، که همه را می‌بیند، او را از همهٔ ماجرا آگاه می کند. الههٔ خشمگین تصمیم گرفت دیگر به آسمان باز نگردد. او از سرزمینی به سرزمینی دیگر می‌رفت و آداب کشت و زرع را به آدمیان می‌آموخت. در طول این مدت، آسمان از غیبت او دیگر سترون شده بود. خدایان تصمیم گرفتند پادرمیانی کنند، زیرا نظم طبیعی، زیر و رو شده بود. آنها تصمیم گرفتند پرسه‌فونه را به مادرش باز گردانند، به شرط آن که در دنیای زیر زمین تا آن وقت چیزی نخورده باشد. هرمس که خدایان او را به عنوان پیك به محل فرستاده بودند، دریافت که پرسه‌فونه یك حبه انار که هلیوس آن را به نشانهٔ عشقش به او پیشکش کرده بود، خورده است: دیگر باز گرداندن همیشگی او به روی زمین ممکن نبود. خدایان در صدد مصالحه‌ای بر آمدند: سرانجام قرار شد پرسه‌فونه هر ساله در موسم بهار به مدت هشت ماه به روی زمین نزد مادرش

17. Hades 18. Helios

باز گردد و در پایان پاییز به مدت چهار ماه نزد شوهرش به زیر زمین برود، و تا هر وقت که او از مادرش جدا مانده باشد، زمین سترون و زمستان خواهد شد. پرسه فونه نمادی از رویش گیاهان و بذر مدفون در دل خاك به هنگام زمستان است که در بهار جوانه می‌زند.

پوستهٔ کرهٔ زمین متجاوز از هزار میلیون سال قبل شکل گرفته است. انسان‌های نخستین نیز در حدود دو میلیون سال قبل می‌زیسته‌اند. آنان در برابر طبیعت، موجودی بسیار ضعیف و ناتوان بودند و همه چیز برایشان عجیب و ترسناك جلوه می‌کرد. در حدود هفت هزار سال قبل از میلاد بود که مردم از غارنشینی دست برداشته و زیستن در روستاها را آغاز کردند.

با کشف آتش و استخراج فلزات، گام‌های بلندتری برداشته شد و به این ترتیب عصر مس جایگزین عصر حجر گردید. زیرا که مس در طبیعت از بقیهٔ مواد فراوانتر و ذوب کردنش نیز آسانتر بود. «این دورهٔ مس سه هزار سال قبل از میلاد در مصر و بین‌النهرین شروع شد، ولی در اروپای مرکزی و غربی از هزار و هشتصد سال قبل از میلاد آغاز گشت.»

دورهٔ مفرغ به فاصلهٔ نزدیکی، پس از آن آغاز گردید. زیرا روزی بر حسب تصادف مقداری قلع و مقداری مس در حالت مذاب با هم مخلوط شدند، و آلیاژ مفرغ را بوجود آوردند.

سپس تکامل فنی به تدریج تکامل فکری را نیز موجب گشت و جهان اسرارآمیز روز به روز برای بشر، شناخته‌تر و دوست داشتنی‌تر گردید. اکنون می‌دانیم که شعله از احتراق گازها پدید می‌آید، اما همین شعله برای نیاکان ما در حکم یك معما، و حتی به مثابهٔ چیزی که می‌بایست بسان یك خدا پرستیده شود، تلقی می‌گردید.

با گذشت قرن‌ها و رشد شهرنشینی، تمدن‌های نوینی در کنار رودخانه‌های بزرگ بوجود آمدند. در حدود سه هزار سال قبل از میلاد بود که تمدن‌های مصر و بابل جلوه‌گر شدند و رو به شکوفایی نهادند. باید توجه داشت که علم در آن دوران، بیشتر در خدمت رفع نیازمندی‌های جامعه بود تا در جهت اقناع حس کنجکاوی بشر.

در جستجوی کشف الفبای کتاب هستی، ابتدا آب و خاك و هوا و آتش را چهار عنصر اصلی در نظر گرفتند. بعدها پس از کشف و شناسایی ۶۴ عنصر، مندلیف[۱۹] توانست جدول تناوبی خود را براساس خواص فیزیکی و شیمیایی عناصر طبقه‌بندی نموده و ضمن کشف ارتباط میان عناصر، وجود سایر عناصر را با شرح برخی خواصشان به درستی پیشگویی نماید. به موازات کشف عناصر گوناگون در ابتدا اتم‌ها را کوچکترین واحد هر عنصری در نظر گرفتند اما با پیشرفت علوم مختلف مشخص شد

---

19. Mendeleyev

که اتم‌ها از الکترون‌ها، پروتون‌ها، و نوترون‌ها تشکیل شده‌اند. مطابق با آخرین دستاوردهای علمی؛ پروتون‌ها و نوترون‌ها و سایر ذرات بنیادی نیز از شش عدد کوارك[20] مختلف تشکیل شده‌اند.

از عمر جهان کنونی در حدود ۱۰ به توان ۱۰ سال می گذرد. عمر یك پروتون آزاد در حدود ۱۰ به توان ۳۰ سال تخمین زده می‌شود. در طول این مدت پروتون با دریافت یك الکترون می تواند به اتم هیدروژن تبدیل شود و در غیر این صورت تجزیه شده و فرو می‌پاشد. یك نوترون آزاد در حدود ۱۵ تا ۲۲ دقیقه عمر دارد و سرانجام به سه ذرهٔ پروتون و الکترون و آنتی نوترینو تجزیه می‌شود. یك الکترون آزاد نیز دارای عمری نامحدود است.

جدول شمارهٔ دو : مشخصات اجزای سازندهٔ اتمهای عناصر مختلف

نام ذره	جرم نسبی بر حسب واحد جرم اتمی (u)	جرم بر حسب گرم	بار نسبی	بار بر حسب کولن
الکترون	۵/۴۸۵۸۰۳ ضربدر ۱۰ به توان ۴-	۹/۱۰۹۵۵ ضربدر ۱۰ به توان ۲۸-	۱+	منهای ۱/۶۰۲۱۸۹ ضربدر ۱۰ به توان ۱۹-
پروتون	۱/۰۰۷۲۷۶	۱/۶۷۲۶۱ ضربدر ۱۰ به توان ۲۴-	۱-	۱/۶۰۲۱۸۹ ضربدر ۱۰ به توان ۱۹-
نوترون	۱/۰۰۸۶۶۵	۱/۶۷۴۹۲ ضربدر ۱۰ به توان ۲۴-	۰	۰

با کشفیاتی مثل دور شدن همهٔ ستارگان از یکدیگر، و دمای متوسط یکسان نقاط مختلف جهان، اغلب دانشمندان به این باور رسیده‌اند که در زمانی بیش از ۱۰ به توان ۱۰ سال پیش، همهٔ مواد عالم به صورت بسیار فشرده‌ای، با دمایی نزدیك به ۱۰ به توان ۳۹ درجهٔ کلوین، در یك نقطه متمرکز بوده اند، که با یك انفجار بزرگ[21] این انرژی و مواد بسیار زیاد در تمام جهات پخش شده‌اند. در حدود یك‌صدم ثانیه بعد از انفراد، یك چهارم کل پروتون‌ها و نوترون‌هایی که قبلاً بوجود آمده بودند، باید به هلیوم و هیدروژن تبدیل شده باشند. عنصر هلیوم در حدود ۲۵ درصد جرم کل مادهٔ کیهان را تشکیل داده و ۷۵ درصد بقیه اغلب از هیدروژن ساخته شده است.

تمام مواد جهان از کهکشان‌ها گرفته تا اتم‌ها و اجزای اتمی؛ تحت تأثیر چهار نیروی گرانشی،

20. Quark 21. Big Bang

نیروی الکترومغناطیسی، نیروی هسته‌ای قوی، و نیروی هسته‌ای ضعیف در کنار هم قرار گرفته‌اند. در عالمی که ما زندگی می‌کنیم، نیروی گرانش، ضعیف‌ترین، اما نافذترین نیروی عمده است. نیروی گرانش؛ نیروی غالب بر کهکشان‌ها، ستاره‌ها و سیاره‌ها و اجسام معمولی است. سه نیروی دیگر در سطح اتمی فعالیت دارند: نیروی الکترومغناطیسی؛ الکترون‌ها را در مدارهای خاصشان به دور هستهٔ اتم نگاه می‌دارد. نیروی هسته‌ای قوی که تریلیون‌ها بار از نیروی گرانش پرقدرت‌تر است، هستهٔ اتم را به صورت یکپارچه حفظ می‌کند و بردش فقط در حدود شعاع هستهٔ اتم است. این نیرو باعث پایداری پروتون‌ها و نوترون‌های هستهٔ اتم می‌باشد. نیروی هسته‌ای ضعیف در اتم‌های معینی مثل اورانیوم، باعث تشعشع رادیو اکتیو می‌شود.

برخی از دانشمندان بنا بر نظریه‌های وحدت یافتهٔ بزرگ یا گوت‌ها[22] سعی و تلاش دارند که این مجموعه‌های گوناگون قوانین طبیعی را با یکدیگر آشتی دهند. آنها اعتقاد دارند که در ورای این قوانین رنگارنگ، یك سادگی نهایی قرار دارد که تمام آنها را می‌توان به صورت قانون ساده‌ای توضیح داد.

ما در یك عالم سرد کم انرژی، عالمی که در آن نیروها و ماده، ثابت و منفصل به نظر می‌آیند؛ زندگی می‌کنیم. اما عالم همیشه آن طور که ما امروز می‌بینیم نبوده است. کیهان[23] از همان لحظهٔ بعداز پیدایش به شدت سرد شده است. اغلب فیزیکدانان معتقدند که کلید معمای عالم در لحظهٔ انفجار بزرگ و یا در زمانی بلافاصله پس از آن قرار دارد. در آن لحظه، به احتمال زیاد برای کسری از ثانیه، هر چهار نیرو به صورت اثر متقابل مستقل در انرژی متمرکز آن تغییر ناگهانی آغازین (انفجار بزرگ) وجود داشته‌اند. تصور می‌شود این اثر متقابل چنان بنیادی بوده باشد که همهٔ نیروهای بعدی از آن به وجود آمده باشند. اما هنوز معادله‌ای که این مطلب را نشان بدهد، کشف نشده است.

بیش از صد نوع عنصر مختلف با صدها نوع ایزوتوپهای مختلف، در کرهٔ زمین وجود دارد که برخی از آنها در ترکیب شیمیایی بدن انسان به شرح جدول شماره ۳ موجود است.

از آنجا که زمین تاریخی بسیار طولانی و مفصل دارد، زمین‌شناسان حوادث عمر زمین را به سه قسمت بزرگ تقسیم کرده‌اند:

قسمت اول؛ از ابتدای پیدایش زمین تا تشکیل پوستهٔ جامد آن.

قسمت دوم؛ از تشکیل پوستهٔ جامد زمین تا پیدایش دریاهای اولیه.

قسمت سوم؛ بوجود آمدن تشکیلات رسوبی در دریاهای اولیه تا کنون.

---

22. Grand Unified Theories

23. Cosmos

جدول شمارهٔ سه : ترکیب شیمیایی بدن انسان

ردیف	عنصر	نسبت در صد	مقدار تقریبی در بدن (گرم)
۱	اکسیژن	۶۵/۰	۴۵ ۵۰۰۱۱
۲	کربن	۱۸/۰	۱۲ ۶۰۰
۳	هیدروژن	۱۰/.	۷ ۰۰۰
۴	نیتروژن	۳/.	۲ ۱۰۰
۵	کلسیم	۱/۵	۱ ۰۵۰
۶	فسفر	۱/۰	۷۰۰
۷	گوگرد	۰/۲۵	۱۷۵
۸	پتاسیم	۰/۲	۱۴۰
۹	سدیم	۰/۱۵	۱۰۵
۱۰	کلر	۰/۱۵	۱۰۵
۱۱	منیزیم	۰/۰۵	۳۵
۱۲	آهن	۰/۰۰۶	۴
۱۳	منگنز	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۲
۱۴	مس	۰/۰۰۰۲	۰/۱
۱۵	ید	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۳

زمین شناسان قسمت سوم عمر زمین را به سه یا چهار دوران[۲۴]، هر دوران را به چند دوره[۲۵]، برخی دوره‌ها را به چند عهد یا دور[۲۶]، و برخی دوره‌ها را نیز به چندین عصر یا اشکوب تقسیم کرده‌اند.

دوران ماقبل کامبرین / پرکامبرین[۲۷] به دو دورهٔ نخست زیست / آرکئوروئیک[۲۸]، و

24. Era
25. Period
26. Epoch
27. Precambrian
28. Archeozoic

جدول شمارهٔ چهار : رویدادهای مهم جهان و کرهٔ زمین از زمان انفجار بزرگ تاکنون

حوادث مهم	میلیون سال قبل	عصر / دور	دوره	دوران
انفجار بزرگ	بین ۱۰۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰	-	-	-
تشکیل کهکشان‌ها	بین ۵۰۰۰ تا ۶۰۰۰	-	-	-
تشکیل منظومهٔ شمسی	۴۶۰۰	-	-	-
سرد شدن پوستهٔ زمین	۳۵۰۰	-	-	-
تشکیل قارهٔ پانگهآ و پیدایش تک‌سلولی‌ها	۳۵۰۰ - ۵۷۰	-	آرکئوزوئیک	پرکامبرین (ماقبل کامبرین)
پیدایش بی‌مهرگان دریازی	۳۵۰۰ - ۵۷۰	-	پروتروزوئیک	
پیدایش بی‌مهرگان صدفدار	۵۷۰ - ۵۰۰	-	کامبرین	پالئوزوئیک (دیرین‌زیستی)
پیدایش نخستین مهره‌داران	۵۰۰ - ۴۳۰	-	اوردوویسین	
پیدایش جانوران هوازی و گیاهان خشکی	۴۳۰ - ۳۹۵	-	سیلورین	
پیدایش دوزیستان‌ها و جنگل‌ها	۳۹۵ - ۳۴۵	-	دونین	
پیدایش نخستین‌خزندگان وگیاهان بی‌گل	۳۴۵ - ۲۸۰	-	کربونیفر	
پیدایش خزندگان پستاندارمانند	۲۸۰ - ۲۲۵	-	پرمین	
پیدایش نخستین دایناسورها	۲۲۵ - ۱۹۰	-	تریاس	مزوزوئیک (میان‌زیستی)
پیدایش نخستین پرندگان	۱۹۰ - ۱۳۶	-	ژوراسیک	
فراوانی گیاهان گلدار و نابودی‌دایناسورها	۱۳۶ - ۶۵	-	کرتاسه	
پیدایش نخستیها و اولین اجداد اسب	۶۵ - ۵۳	پالئوسن	ترشیاری (دورهٔ سوم)	سنوزوئیک (نوین‌زیستی)
پیدایش اولین کرگدن و شتر	۵۳ - ۳۷	ائوسن		
پیدایش میمون‌های بی‌دم و فیل‌ها	۳۷ - ۲۶	الیگوسن		
فراوانی پستانداران علفخوار	۲۶ - ۱۲	میوسن		
	۱۲- ۲	پلیوسن		
پیدایش انسان‌های آتلانتید و ناندرتال و کرومانیون	از ۲ میلیون سال قبل تا ۱۰۰۰۰ سال قبل	عصر حجر : پارینه سنگی	کواترنری (دورهٔ‌چهارم) / دور پلئیستوسن	
پیدایش انسان‌های هولوسن	از ۱۰۰۰۰ تا ۴۰۰۰ سال قبل	عصرحجر: میانه سنگی	کواترنری (دورهٔ‌چهارم) / دور هولوسن / عصر حاضر	
ظهورتمدن‌ها در کنارهٔ رودخانه‌های بزرگ	از ۴۰۰۰ قبل تا ۲۰۰۰سال قبل	عصر حجر : نوسنگی		
	از ۳۰۰۰ تا ۲۰۰۰ سال قبل	عصر فلزات : عصر مس		
	از۲۰۰۰ تا ۱۰۰۰ سال قبل	عصر فلزات : عصر مفرغ		
	از ۱۰۰۰ سال قبل تاکنون	عصر فلزات : عصر آهن		

دورهٔ پیشین زیست / پروتروزوئیك[۲۹] یا آلگونیکن[۳۰] تقسیم شده است. در این دوران جانداران تك‌سلولی بوجود آمده‌اند.

دوران دیرین زیستی / پالئوزوئیك[۳۱] به چندین دوره تقسیم می‌شود؛ دورهٔ کامبرین[۳۲]، دورهٔ اوردوویسین[۳۳]، دورهٔ سیلورین[۳۴]، دورهٔ دونین[۳۵]، دورهٔ زغالین میسی سی پین[۳۶]، دورهٔ ذغالین پنسیلوانین[۳۷]، و دورهٔ پرمین[۳۸] تقسیم شده است. در این دوران حیوانات بی‌مهره و گیاهان نهان‌دانه بوجود آمده‌اند.

دوران میان زیستی / مزوزوئیك[۳۹] به دورهٔ تریاسیك[۴۰]، دورهٔ ژوراسیك[۴۱]، و دورهٔ آهکین / کرتاسه[۴۲] تقسیم شده است. در این دوران خزندگان و گیاهان بازدانه بوجود آمده‌اند.

دوران نوین زیستی / سنوزوئیك[۴۳] به دو دورهٔ ترشیاری / دورهٔ سوم[۴۴]، و دورهٔ کواترنری / دورهٔ چهارم[۴۵] تقسیم شده است. دورهٔ ترشیاری را به دو بخش دیرین‌زا[۴۶]، و نوین‌زا[۴۷] تقسیم شده که بخش اول شامل دوره‌های پالئوسن[۴۸] ائوسن[۴۹]، و الیگوسن[۵۰]، و بخش دوم شامل دوره‌های میوسن[۵۱]، و پلیوسن[۵۲] می‌باشد. در دورهٔ سوم پستانداران و گیاهان امروزی و در دورهٔ چهارم انسانها بوجود آمدند. دورهٔ چهارم را دورهٔ آدم‌زا / آنتروپوزوئیك[۵۳] می‌نامند.

دورهٔ کواترنری / دورهٔ چهارم به دوره پلئیستوسن[۵۴]، و دوره هولوسن[۵۵] تقسیم شده است. این دو دور به دو عصر حجر[۵۶]، و عصر فلزات[۵۷] به شرح جدول شماره یك تقسیم شده‌اند. عصر حجر به سه بخش پارینه سنگی[۵۸]، میانه سنگی[۵۹]، و نوسنگی[۶۰] تقسیم شده است. عصر فلزات نیز به سه بخش عصر مس، عصر مفرغ، و عصر آهن تقسیم شده است. عصر حاضر ادامهٔ عصر آهن می‌باشد.

---

29. Protorozoic
30. Algonkian
31. Paleozoic
32. Cambrian
33. Ordovician
34. Silurian
35. Devonian
36. Carboniferous Mississippian
37. Carboniferous Pennsylvania
38. Permian
39. Mesozoic
40. Triassic
41. Jurassic
42. Cretaceous
43. Cenozoic
44. Tertiary
45. Quaternary
46. Paleogen
47. Neogen
48. Paleocene
49. Eocene
50. Oligocene
51. Miocene
52. Pliocene
53. Anthropozoic
54. Pleistocene
55. Holocene
56. Stone Age
57. Metal Age
58. Paleolithic
59. Mesolithic
60. Neolithic

منابع

مبانی نجوم؛ اثر اتو استروو، ترجمهٔ حسین زمردیان، انتشارات دانشگاه تهران.

سرگذشت اتم؛ اثر پی‌یر رادوانی، ترجمهٔ عبدالحسین نیک‌گهر، سروش.

سرگذشت دانش؛ اثر ادموند هانتر، ترجمهٔ کلود کرباسی، انتشارات همگام.

تاریخ علوم؛ اثر پی‌یر روسو، ترجمهٔ حسن صفاری، انتشارات امیرکبیر.

تاریخچهٔ زمان؛ اثر استیون هاوکینگ، ترجمهٔ محمدرضا محجوب، شرکت سهامی انتشار.

زمین شناسی سال چهارم علوم تجربی، اثر حسین دانشفر و عمادالدین کواری، وزارت آموزش و پرورش.

عالم استیون هاوکینگ؛ اثر جان باسلو، ترجمهٔ رضا سندگل، موسسهٔ خدمات فرهنگی رسا.

جهان فیزیکدانان؛ اثر و. کلر، ترجمهٔ نورالدین فرهیخته، انتشارات نگاه.

دروس عمومی حفاظت در برابر اشعه؛ اثر مهدی غیاثی‌نژاد و مهران کاتوزی، شرکت دربید.

اطلس کامل گیتاشناسی؛ انتشارات موسسهٔ جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی.

آلبوم تصاویر

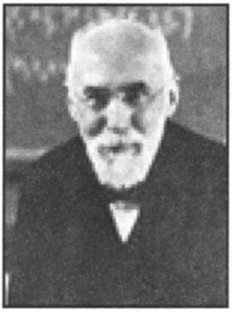
۱ـ برندگان جایزهٔ نوبل در رشتهٔ فیزیک

۲ـ برخی از اندیشمندان یونان باستان



ویلهلم کنراد رونتگن

(۱۹۰۱)



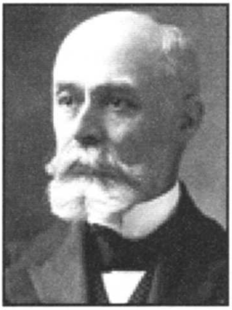
هنریك آنتون لورنتز

(۱۹۰۲)



پیتر زیمان

(۱۹۰۲)



آنتوان هانری بکرل

(۱۹۰۳)



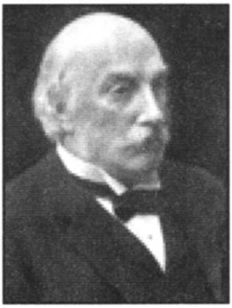
پیر کوری

(۱۹۰۳)



ماری اسکلودوفسکا کوری

(۱۹۰۳)



جان ویلیام استروت

(۱۹۰۴)



فلیپ ادوارد آنتون فون لنارد

(۱۹۰۵)

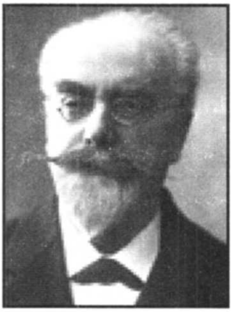


جوزف جان تامسون

(۱۹۰۶)



آلبرت آبراهام مایکلسون
(۱۹۰۷)



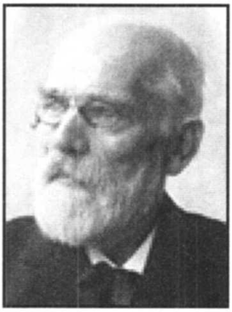
گابریل لیپمان
(۱۹۰۸)



گوگلیلمو مارکنی
(۱۹۰۹)



کارل فردیناند براون
(۱۹۰۹)



یوهانس دیدریك وان دروالس
(۱۹۱۰)



ویلهلم وین
(۱۹۱۱)



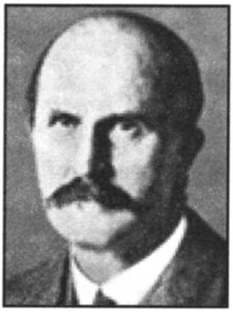
نیلز گوستاو دالن
(۱۹۱۲)



هایك کامرلینگ اونس
(۱۹۱۳)

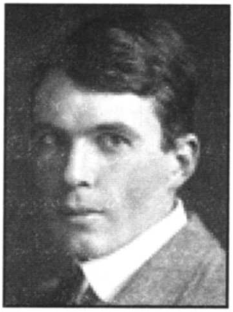


ماکس فون لائو
(۱۹۱۴)



ویلیام هنری براگ

(۱۹۱۵)



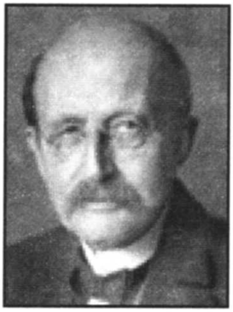
ویلیام لارنس براگ

(۱۹۱۵)



چارلز گلاور بارکلا

(۱۹۱۷)



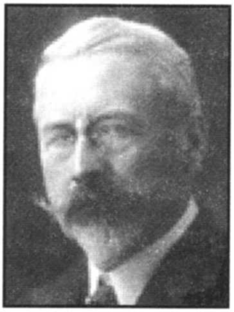
ماکس پلانک

(۱۹۱۸)



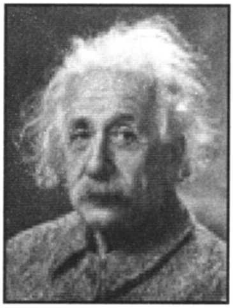
یوهانس اشتارک

(۱۹۱۹)



چارلز ادوارد گیوم

(۱۹۲۰)



آلبرت آینشتاین

(۱۹۲۱)



نیلز بور

(۱۹۲۲)



رابرت میلیکان

(۱۹۲۳)



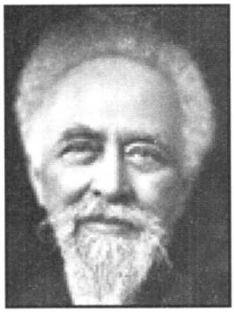
کارل مان جورج زیگبان
(۱۹۲۴)



جیمز فرانك
(۱۹۲۵)



گوستاو لودویگ هرتس
(۱۹۲۵)



ژان باپتیست پرن
(۱۹۲۶)



آرتور هالی کمپتون
(۱۹۲۷)



چارلز ویلسون
(۱۹۲۷)



اوون ویلانز ریچاردسون
(۱۹۲۸)



لویی دو بروی
(۱۹۲۹)

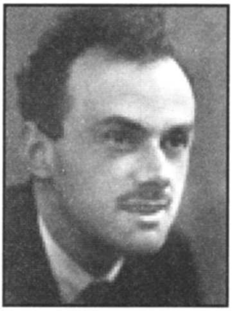


چاندرا ساخارا ونکاتا رامان
(۱۹۳۰)



ورنر کارل هایزنبرگ

(۱۹۳۲)



پل آدرین موریس دیراك

(۱۹۳۳)



اروین شرودینگر

(۱۹۳۳)



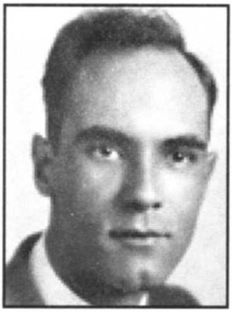
جیممز چادویك

(۱۹۳۵)



ویکتور فرانتز هس

(۱۹۳۶)



کارل دیوید آندرسون

(۱۹۳۶)



کلینتون جوزف دیویسون

(۱۹۳۷)



جورج پاجت تامسون

(۱۹۳۷)



انریکو فرمی

(۱۹۳۸)



ارنست اورلاندو لارنس
(۱۹۳۹)



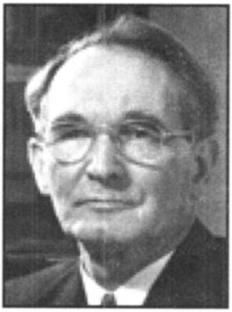
اوتو اشترن
(۱۹۴۳)



ایزیدور آیزاک رابی
(۱۹۴۴)



ولفگانگ پائولی
(۱۹۴۵)



پرسی ویلیامز بریجمن
(۱۹۴۶)



ادوارد ویکتور اپلتون
(۱۹۴۷)



پاتریك بلاکت
(۱۹۴۸)



هیدکی یوکاوا
(۱۹۴۹)



سیسیل فرانك پاول
(۱۹۵۰)



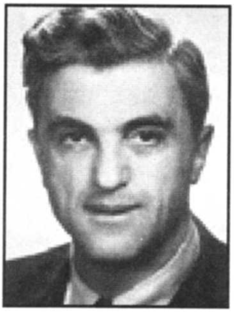
جان داگلاس کاکرافت

(۱۹۵۱)



ارنست والتون

(۱۹۵۱)



فلیکس بلوک

(۱۹۵۲)



ادوارد میلزپرسل

(۱۹۵۲)



فریتز زرنیک

(۱۹۵۳)



ماکس بورن

(۱۹۵۴)



والتربوت

(۱۹۵۴)



ویلیس یوجین لمب

(۱۹۵۵)



پولیکارپ کوش

(۱۹۵۵)



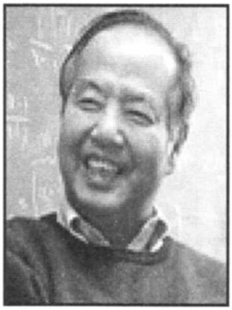
والتر هاوزر براتین
(۱۹۵۶)



ویلیام شاکلی
(۱۹۵۶)



چن نینگ یانگ
(۱۹۵۷)



تسونگ دائولی
(۱۹۵۷)



پاول آلکسیویچ چرنکوف
(۱۹۵۸)



ایلیا میخاییلوویچ فرانک
(۱۹۵۸)



ایگور او گنیویچ تام
(۱۹۵۸)



اوون چمبرلن
(۱۹۵۹)



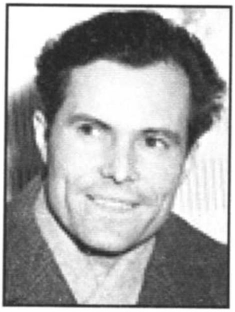
امیلیو سگره
(۱۹۵۹)



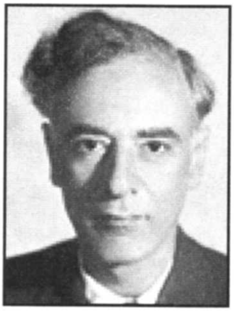
دونالد آرتور گليزر
(۱۹۶۰)



رابرت هوفستاتر
(۱۹۶۱)



رودولف لودويك موسبوئر
(۱۹۶۱)



ليف داويدوويچ لاندائو
(۱۹۶۲)



يوجين پاول ويگنر
(۱۹۶۳)



ماريا گوپرت ـ ماير
(۱۹۶۳)



يوهانس هانس دانيلس جنسن
(۱۹۶۳)



چارلز هارد تاونز
(۱۹۶۴)



نيكولاى گناديويچ باسوف
(۱۹۶۴)



الکساندر میخاییلوویچ پروخوروف
(۱۹۶۴)



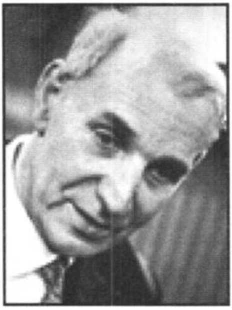
ریچارد فیلیپس فینمن
(۱۹۶۵)



جولیان سیمور شوینگر
(۱۹۶۵)



سین-ایتیرو توموناگا
(۱۹۶۵)



آلفرد کاستلر
(۱۹۶۶)



هانس آلبرخت بیت
(۱۹۶۷)



لویس والتر آلوارز
(۱۹۶۸)



موری گلمان
(۱۹۶۹)



هانس آلفون
(۱۹۷۰)



لویی اوژن فلیکس نیل
(۱۹۷۰)



دنیس گابور
(۱۹۷۱)



جان باردین
(۱۹۷۲)



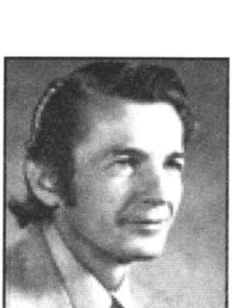
لئون کوپر
(۱۹۷۲)



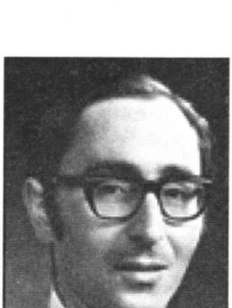
جان رابرت شریفر
(۱۹۷۲)



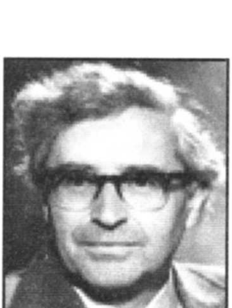
لئو اساکی
(۱۹۷۳)



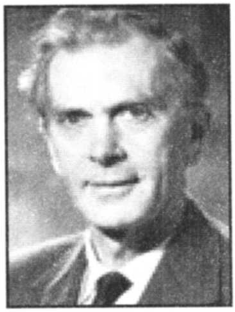
ایوار گی ایور
(۱۹۷۳)



برن دیوید جوزفسون
(۱۹۷۳)



آنتونی هیوییش
(۱۹۷۴)



مارتین رایل

(۱۹۷۴)



آژ (اوج، اوگه) بور

(۱۹۷۵)



بن روی موتلسون

(۱۹۷۵)



لئو جیمز رینواتر

(۱۹۷۵)



برتون ریشتر

(۱۹۷۶)



ساموئل چاوچونگ تینگ

(۱۹۷۶)



جان هاسبروک ون ولک

(۱۹۷۷)



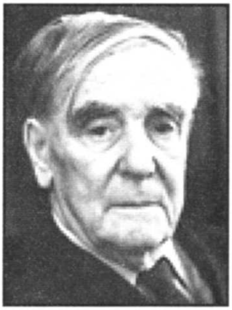
نویل فرانسیس مات

(۱۹۷۷)



فیلیپ وارن آندرسون

(۱۹۷۷)



پیتر لئونیدوویچ کاپتیزا

(۱۹۷۸)



آرنو پنز یاس

(۱۹۷۸)



رابرت وودرو ویلسون

(۱۹۷۸)



محمدعبدالسلام

(۱۹۷۹)



استیون واینبر گ

(۱۹۷۹)



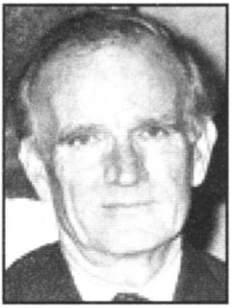
شلدن گلاشو

(۱۹۷۹)



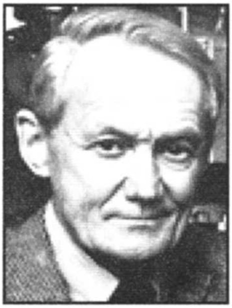
جیمز کرونین

(۱۹۸۰)



وال فیتچ

(۱۹۸۰)



کی زیگبان

(۱۹۸۱)



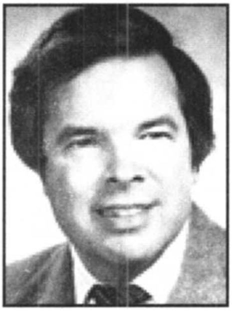
نیکلاس بلومبرگن

(۱۹۸۱)



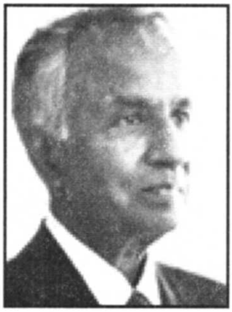
آرتر شاولو

(۱۹۸۱)



کنت جی ویلسون

(۱۹۸۲)



سوبرامانیان چاندرا ساخارا

(۱۹۸۳)



ویلیام آلفرد فاولر

(۱۹۸۳)



کارلو روبیا

(۱۹۸۴)



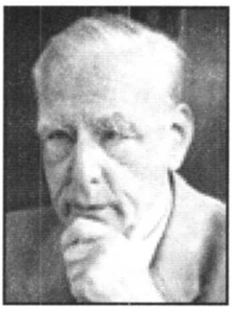
سیمون واندرمیر

(۱۹۸۴)



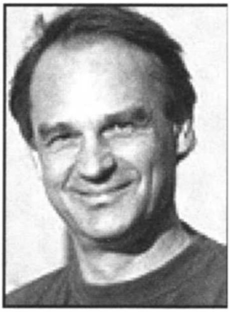
کلاوس فون کلیتسینگ

(۱۹۸۵)

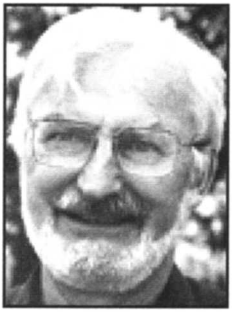


ارنست روسکا

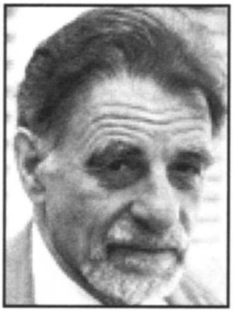
(۱۹۸۶)



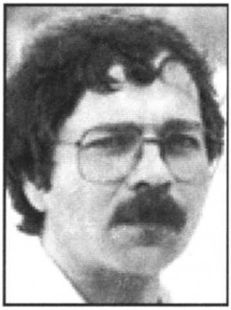
گرد بینیگ
(۱۹۸۶)



هاینریش روهرر
(۱۹۸۶)



کارل آلکس مولر
(۱۹۸۷)



یوهانس گئورگ بدنورتس
(۱۹۸۷)



لئون لدرمن
(۱۹۸۸)



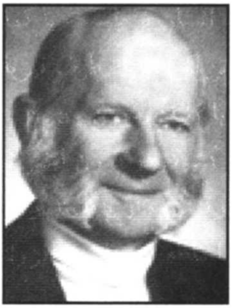
ملوین شوارتز
(۱۹۸۸)



جك استینبرگر
(۱۹۸۸)



نورمن فوستر رامزی
(۱۹۸۹)



هانس گئورك دهملت
(۱۹۸۹)



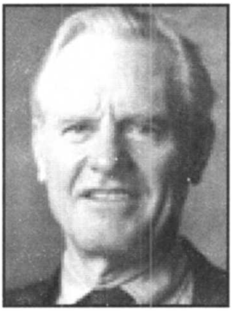
ولفگانگ پائول

(۱۹۸۹)



جروم ایساك فریدمن

(۱۹۹۰)



هنری وی کندال

(۱۹۹۰)



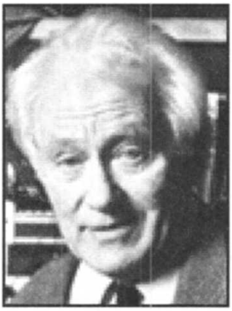
ریچارد تیلور

(۱۹۹۰)



پی یر گیل دو ژانس

(۱۹۹۱)



ژرژس شارپاك

(۱۹۹۲)



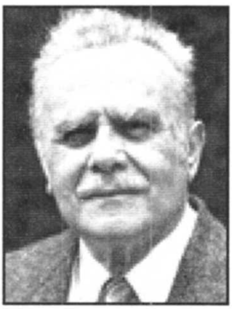
راسل آلن هولس

(۱۹۹۳)



جوزف هوتون تیلور

(۱۹۹۳)



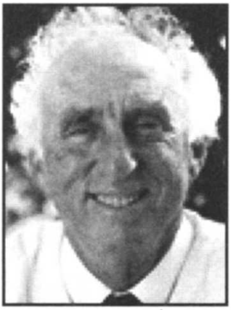
برترام بروك هاوس

(۱۹۹۴)



کلیفورد گلن وود شول

(۱۹۹۴)



مارتین لویس پرل

(۱۹۹۵)



فردریك رینز

(۱۹۹۵)



دیوید موریس لی

(۱۹۹۶)



داگلاس دین اوشروف

(۱۹۹۶)



رابرت کولمن ریچاردسون

(۱۹۹۶)



استیون چو

(۱۹۹۷)



کلود کوهن تانودجی

(۱۹۹۷)



ویلیام دانیل فیلیپس

(۱۹۹۷)



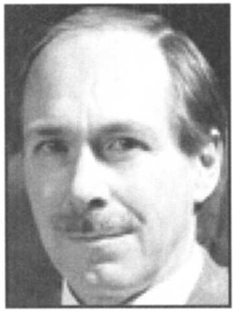
رابرت بتس لائولین
(۱۹۹۸)



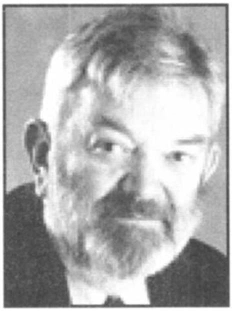
هورست لودویك اشتورمر
(۱۹۹۸)



دانیل چی سویی
(۱۹۹۸)



گراردوس تی هوفت
(۱۹۹۹)



مارتینوس گادفریدوس ولتمن
(۱۹۹۹)



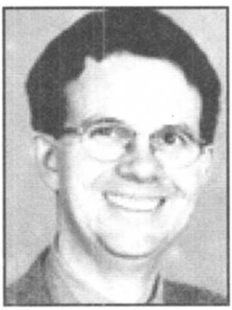
ژورس ایوانوویچ آلفه روف
(۲۰۰۰)



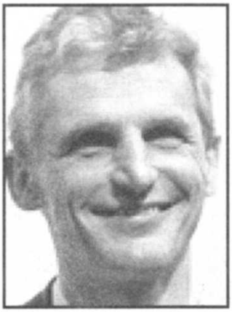
هربرت کروئه مر
(۲۰۰۰)



جك کلر کیلبی
(۲۰۰۰)



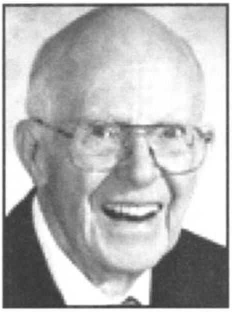
اریك آلن کورنل
(۲۰۰۱)



ولفگانگ کت‌ترل
(۲۰۰۱)



کارل ادوین واینمن
(۲۰۰۱)



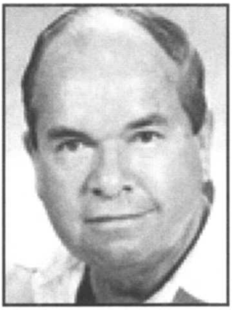
ریموند دیویس
(۲۰۰۲)



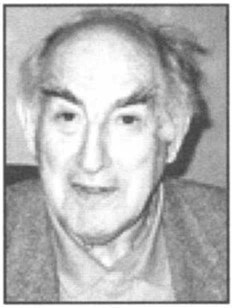
ماساتوشی کوشیبا
(۲۰۰۲)



ریکاردو گیاکونی
(۲۰۰۲)



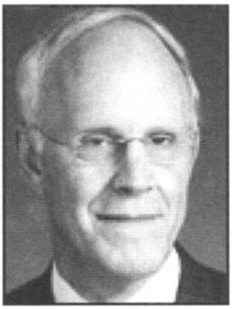
آلکسیس آلکسی یویچ آبریکوزوف
(۲۰۰۳)



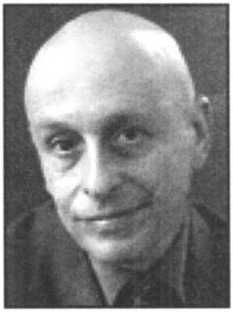
ویتالی لازاریویچ گینزبورگ
(۲۰۰۳)



آنتونی جیمز لگت
(۲۰۰۳)

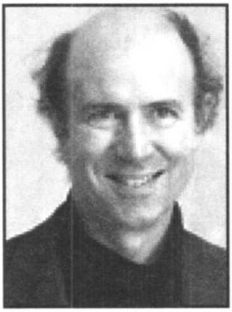


دیوید جاناتان گراس
(۲۰۰۴)



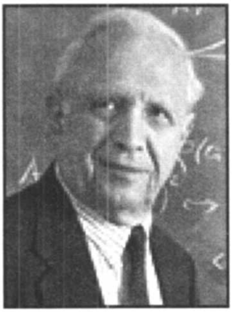
هاگ دیوید پولیتزر

(۲۰۰۴)



فرانك ویل چك

(۲۰۰۴)



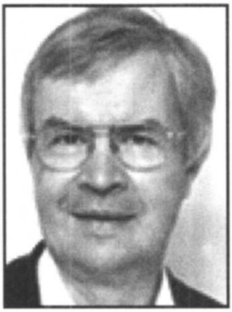
روی جی گلابر

(۲۰۰۵)



جان لویس هال

(۲۰۰۵)



تئودور ولفگانگ هانش

(۲۰۰۵)



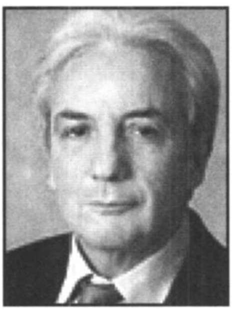
جان کرامول ماتر

(۲۰۰۶)



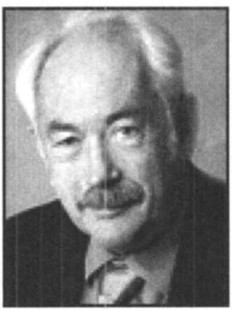
جورج فیتز جرالد اسموت

(۲۰۰۶)



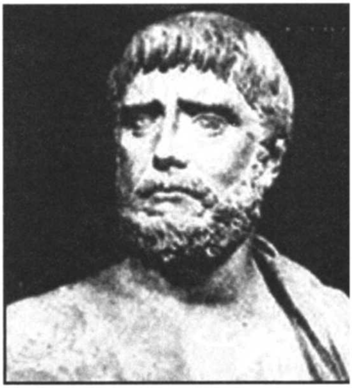
آلبرت فرت

(۲۰۰۷)



پیتر گرانبرگ

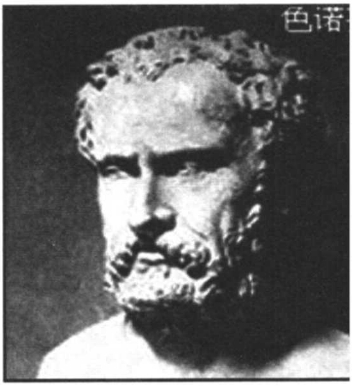
(۲۰۰۷)


تالس



آناکسیمنس


کسنوفانس

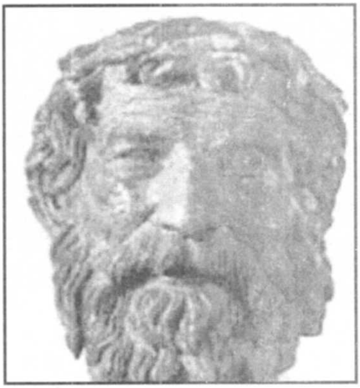


هراکلیتوس

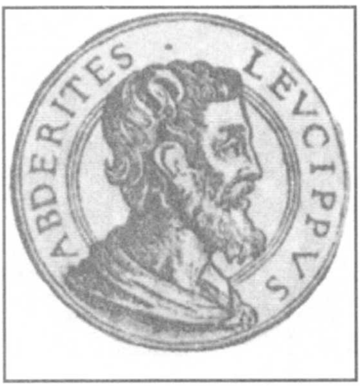


فیثاغورس

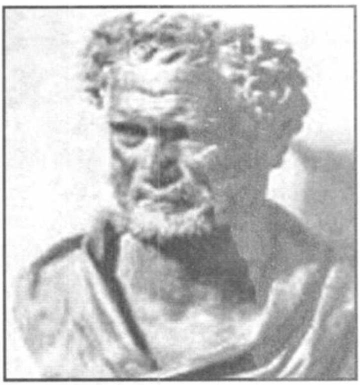

امپدوکلس


آناکساگوراس


دموکریتوس



دموکریتوس

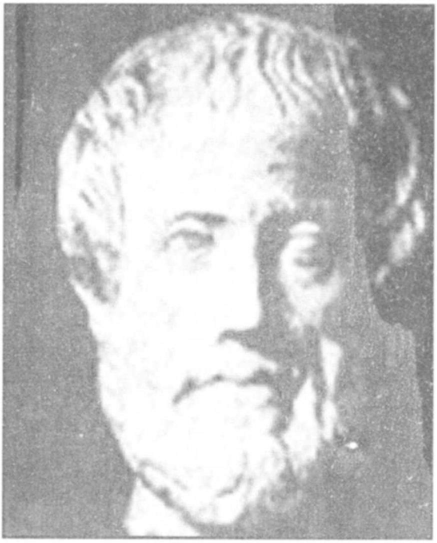

پیازی اسمیت



هیپوکرات



افلاطون



ارسطو